

Tielaitos

Moreeni ja sen käyttö

**Tielaitoksen
selvityksiä**

20/1993

Oulu 1993

**Geokeskus,
Oulun
kehitysyksikkö**

Tielaitoksen selvityksiä
20/1993

Moreeni ja sen käyttö

Tielaitos
Geokeskus, Oulun kehitysyksikkö

Oulu 1993

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-6992-9
TIEL 3200146
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1993

Julkaisua myy:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotevarasto
Telefax (90) 1487 2698

Tielaitos

Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Geokeskus,
Oulun kehitysyksikkö
Kansankatu 47
PL 261
90901 OULU
Puh. (981) 310 9383

Asiasanat tienrakennus, moreeni

TIIVISTELMÄ

Käyttökelpoisten soravarojen ehtyessä joudutaan tulevaisuuden tierakentamisessa turvautumaan enenevässä määrin vaihtoehtoisten materiaalien käyttöön. Moreenit ovat tässä suhteessa eräs hyvin vartenotettava voimavara.

Hyödyntämiskelpoisista moreenialueista ja määristä ei Suomessa ole tehty yhtenäistä inventointia.

Tiepiireissä inventointitilanne on vuonna 1990 saatujen tietojen mukaan seuraavanlainen:

Piiri	Systemaattista moreeniaineksen inventointia	Tutkittuja kohteita tai koekuoppia	Murskauskelpoisia moreenikohteita tai m ³
Uusimaa	-	-	-
Turku	-	-	-
Häme	Suurin osa alueesta	220	70
Kymi	Kolmella kumpumoreenialueella	150	10
Mikkeli	Suurin osa alueesta	178	29
Pohjois-Karjala	Osalla alueesta	14	n. 1 milj. m ³ itd
Kuopio	Suurin osa alueesta	617/957	7-8 milj. m ³ itd
Keski-Suomi	Suurin osa alueesta	250	75
Vaasa	Suurin osa alueesta	100	14
Keski-Pohjanmaa	Yksittäisiä kohteita	?	?
Oulu	Yksittäisiä kohteita ja lounaisosa	46	1
Kainuu	Osa alueesta	126	28
Lappi	Yksittäisiä kohteita	9	6

Arviot eivät ole alueellisesti kattavia, koska vaikeiden kulkuyhteyksien takaisia kohteita ei ole tutkittu.

Moreenien maanrakennustekniset ominaisuudet, kuten käsiteltävyys ja kantavuus, riippuvat oleellisesti hienoainespitoisuudesta. Runsaasti hienoainesta (yli 20 %) sisältävät moreenit häiriintyvät helposti, kun aineksen vesipitoisuus nousee 1 - 2 %-yksikköä yli optimivesipitoisuuden. Moreenin häiriintyessä se voi menettää lujuutensa ja kantavuutensa lähes kokonaan.

Hienoainespitoisuus vaikuttaa ratkaisevasti myös moreenin routimisherkyyteen. Moreeni routii aina routimiselle suotuisissa olosuhteissa, kun se sisältää yli 35 % hienoainesta (0,074/64).

Tämänhetkisissä TIEL:n suunnitteluohjeissa annetaan käyttöohjeet luonnonmoreenille ainoastaan penkereessä. Ohjeiden mukaan soramoreenit soveltuvat penkereeseen hyvin. Riippuen pohjamaan rakeisuudesta voidaan joutua penkereen alla käyttämään suodatinkerrosta tai -kangasta. Hiekkamoreenit kelpaavat penkereeseen, mutta vesipitoisuus vaikeuttaa niiden tiivistämistä, kun hienoainesta (< 0,074 mm) on paljon (> 35 %).

Tienrakennusta silmälläpitäen moreenin ominaisuuksia voidaan selvästi parantaa vähentämällä hienoainespitoisuutta mekaanisesti tai kemiallisesti (stabilointi). Hienoainespitoisuutta vähentämällä voidaan routivasta moreenista tehdä routimatonta ja samalla lisätä moreenin kantavuutta sekä sen pysyvyyttä myös märkänä.

Mekaanisessa jalostuksessa pyritään saamaan moreenille haluttu raekokojakauma. Mekaanisissa menetelmissä raekokojakaumaan ja hienoaineksen prosentuaaliseen määrään voidaan vaikuttaa murskauksella, erottelulla ja sekoituksella. Moreenin jalostuksessa erottelu voidaan toteuttaa välppäyksellä, seulonnalla tai pesulla. Usein eri erotusmenetelmiä yhdistetään toisiinsa.

Murskattua moreenia voidaan käyttää jakavassa ja eristyskerroksessa sekä soratien kulutuskerroksessa. Jos moreenimursketta käytetään kantavassa kerroksessa, tulee kerroksen kuivana pysyminen kaikissa olosuhteissa varmistaa rakenteellisesti.

Materiaalien sekoituksella voidaan muuttaa moreenin raejakaumaa. Sekoituksen lähtökohtana on, että sekoituksessa saatavan materiaalin ominaisuudet ovat paremmat kuin kummankaan lähtömateriaalin. Yleensä kahden ainesosan sekoittaminen on riittävä. Käytettäviä sekoitusyhdistelmiä ovat mm. moreeni + sora, moreenimurske + soramurske, moreenimurske + kalliomurske. Jos on käytettävissä sekoitukseen sopivia materiaaleja, on sekoitus taloudellinen tapa muuttaa materiaalin rakeisuutta.

Stabiloinnilla saadaan aikaan maa-aineksen karkeutumista ja rakeiden osittaista kiinnittymistä. Stabiloinnin avulla maa-aineksen kantavuus paranee ja routivuus vähenee. Stabilointiaineina voidaan käyttää sementtiä, bitumia ja kalkkia. Sementtiä ja bitumia käytetään karkeahkon, vain jonkin verran hienoainesta sisältävän maa-aineksen stabilointiin. Kalkkistabilointi soveltuu taas parhaiten hienon, silttisen maa-aineksen stabilointiin.

Pienillä sideainepitoisuuksilla (1 - 3 %) voidaan parantaa moreenin stabiiliisuutta ja pienentää routivuutta. Haluttaessa lisätä kantavuutta tulee käyttää suurempia sideainepitoisuuksia kuin edellä. Käytännössä lujittamiseen tarvittava sideainemäärä vaihtelee sementtistabiloinnissa 4 - 7 %, kalkkistabiloinnissa 4 - 12 % ja bitumistabiloinnissa 3 - 5 %.

Stabiloinnin avulla saatua materiaalia voidaan käyttää kaikissa tien rakenerkerroksissa paitsi ei pysyvänä kulutuskerroksena. Käyttö riippuu siitä, mihin stabiloinnilla pyritään.

Sementti- ja bitumistabiloidut moreenit soveltuvat hyvin jakavaksi ja kantavaksi kerrokseksi. Kalkkistabiloidut moreenit taas soveltuvat jakavaksi tai kantavaksi kerrokseksi vähäliikenteisillä teillä. Alusrakenteeksi kalkkistabiloitu kerros soveltuu hyvin myös korkealuokkaisilla teillä.

ALKUSANAT

Tässä kirjallisuustutkimuksessa on selvitetty Suomessa yleisimmin esiintyvän luonnonmateriaalin, moreenin käyttöä tienpidossa.

Tutkimuksessa on kartoitettu tietarkoituksiin soveltuvien moreenien määriä ja esiintymistä Suomessa. Kirjallisuuden perusteella on selvitetty luonnonmoreenien käyttömahdollisuuksia ja -kokemuksia tierakenteissa sekä jalostettujen moreenien käyttöä tierakenteissa. Moreenin jalostusta käsitellään erillisessä raportissa.

Kirjallisuustutkimus on tehty tielaitoksen Oulun kehitysyksikön toimeksiannosta. Oulun kehitysyksiköstä työtä on valvonut DI Seppo Salmenkaita. Insinööritoimisto PSV Oy:stä projektissa ovat työskennelleet TkT Esko Ehrola, DI Pekka Koskela ja FM Pentti Viitanen. Tämän raportin on alkupe-
räisaineistosta muokannut Seppo Salmenkaita.

Oulussa maaliskuussa 1993

Geokeskus,
Oulun kehitysyksikkö

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
2	MOREENIN SYNTY JA ESIINTYMINEN	10
2.1	Yleistä	10
2.2	Moreenimuodostumat	10
2.3	Moreenien esiintymisalueet ja määrät	13
2.4	Moreeniesiintymän tutkiminen	16
3	MOREENI MAANRAKENNUSMATERIAALINA	18
3.1	Moreenien geotekninen luokittelu	18
3.2	Maanrakennustekniset ominaisuudet	20
3.2.1	Yleistä	20
3.2.2	Käsiteltävyys	20
3.2.3	Kantavuus	24
3.2.4	Routivuus	27
4	LUONNONMOREENIEN KÄYTTÖ TIERAKENTEISSA	36
5	JALOSTETTUIJEN MOREENIEN KÄYTTÖ TIERAKENTEISSA	38
5.1	Yleistä	38
5.2	Mekaanisesti jalostetut moreenit	38
5.3	Stabiloidut moreenit	44
5.4	Käyttökokemukset	46
5.5	Moreenimurskeiden hankintamäärät	49
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	51
7	KIRJALLISUUSLUETTELO	54

1 JOHDANTO

Tienpidossa vartenotettavaksi vaihtoehdoksi materiaalin hankinnassa on tullut rakennuspaikalta tai sen välittömästä läheisyydestä saatavien materiaalien käyttö. Tämä johtuu perinteisten tienpitomateriaalien vähenemisestä ja kuljetusmatkojen pitenemisestä. Harkitaessa rakennuspaikalta saatavan materiaalin käyttöä tulee useissa tapauksissa kyseeseen moreeni, koska yli puolet Suomen maaperästä on moreenia.

Tässä kirjallisuusselvityksessä kartoitetaan aluksi tienpitoon käyttökelpoisen moreenin esiintymistä Suomessa. Tämän jälkeen selvitetään moreenin maanrakennusteknisiä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat moreenimateriaalin käyttöön tienpitomateriaalina. Näiden perusteiden ja nykyisen käytännön pohjalta tarkastellaan seuraavaksi luonnonmoreenin käyttömahdollisuuksia tienpitomateriaalina.

Vaativiin rakenteisiin, esim. tien päällysrakenteeseen, eivät moreenit useinkaan sovellu sellaisenaan, vaan niiden maanrakennusmekaanisia ominaisuuksia tulee parantaa. Parantamismenetelminä tulevat kysymykseen erilaiset jalostusprosessit. Tässä kirjallisuustutkimuksessa tarkastellaan jalostettujen moreenien käyttömahdollisuuksia ja -kohteita tierakenteissa.

Moreenin mekaanisten jalostusmenetelmien ja stabiloinnin prosesseja sekä käyttömahdollisuuksia moreenien jalostuksessa käsitellään eri raporttina julkaistavassa kirjallisuusselvityksessä.

2 MOREENIN SYNTY JA ESIINTYMINEN

2.1 Yleistä

Moreeni on maalaji, joka on muodostunut jäätikön kuluttamasta, kuljettamasta ja kerrostamasta aineksesta.

Moreenin materiaali koostuu vanhasta ns. preglasiaalisesta irtomaasta ja kallioperän rapautumasta, jotka sekoittuivat viimeisimmän jäätikön kallioperästä irrottamaan kiviainekseen.

Jäätikön aiheuttama kallioperän kulutus on ollut voimakkainta pehmeissä kivilajeissa sekä rikkonaisen, epätasaisen ja voimakkaasti rapautuneen kallion alueella sekä jään liikkeen suuntaisissa ruhjelaaksoissa.

Moreenin aineksesta osa kulkeutui jäätikön pohjaosissa osan kohotessa jään sisäisten virtausten vaikutuksesta jäätikön sisä- ja pintakerroksiin.

2.2 Moreenimuodostumat

Jäätikön kuljettama mineraaliaines kerrostui jään liikkeen ja sulamisen vaikutuksesta rakenteeltaan erilaisiksi moreenimuodostumiksi.

Jäätikön pohjaosissa kulkeutunut aines kerrostui jään pohjasulamisen vaikutuksesta muodostaen kallioperää verhoavan ja sen korkeuseroja tasoittavan ohuen ja omaa korkokuvaa vailla olevan hyvin tiiviiksi pakkautuneen pohjamoreenin.

Pohjamoreeni on yleensä homogeenistä, joskin osittain lajittuneita sora- tai hiekkavaltaisia löyhähkötä välikerroksia voidaan tavata kalliokohoumien rinteillä, jotka sijaitsevat jäätikön virtaussuuntaan nähden kallion suojanpuolella.

Raekoostumukseltaan pohjamoreeni on yleisimmin silttistä hiekkamoreenia. Pohjamoreeni ei yleensä sovellu moreenimurskeen raaka-aineeksi suuren hienoainespitoisuutensa vuoksi.

Pohjamoreenia verhoaa useimmiten ohut noin 0 - 100 cm paksu, löyhähkö, alueen pohjamoreenia runsaskivisempi ja vähemmän hienoainesta sisältävä jäätikön sisäosissa kulkeutuneesta kiviaineksesta koostuva pintakerros, joka jään pintasulamisen vaikutuksesta kerrostui pohjamoreenin päälle.

Pintamoreenista voidaan paikoin saada käyttökelpoista mursketta, joskin ohut kerrospaksuus on taloudellista käyttöä suuresti rajoittava tekijä.

Peitemoreeni on Suomen yleisin maalaji ja sen osuus maapinta-alasta on noin 48,2 %.

Drumliinit syntyivät jäätikön perääntymisvaiheessa, aktiivisen (liikkuvan) jään sisään reunavyöhykkeellä. Drumliinit ovat jäätikön liikkeen suuntaisia selänteitä ja ne voivat koostua kokonaan maa-aineksesta tai sisältää kalliotsydämen.

Drumliinit muodostavat usein laajoja, virtaviivaisista selänteistä koostuvia kenttiä. Tällainen esiintyminen edellyttää runsaan moreeniaineksen olemassaoloa jäätikön pohjaosassa ja tällöin myös suurin osa drumliineista

koostuu pelkästään maa-aineksesta. Yksittäiset, harvassa olevat selänteet sisältävät yleensä kalliosydämen tai ovat muodostuneet kalliokohouman taakse jään virtaussuuntaan nähden.

Kooltaan drumliinit vaihtelevat: pituus on keskimäärin 0,1 - 7 km, leveys 0,05 - 4 km ja korkeus voi olla kymmeniä metrejä.

Drumliinien materiaali on tavallisesti tiivistä hiekkamoreenia ja/tai silttistä hiekkamoreenia, jossa kivisyys on vähäinen. Lajittunutta ainesta tavataan lähinnä drumliinien "häntäosassa".

Moreenimurskeen raaka-aineeksi drumliinien materiaali ei yleensä sovi vähäkivisyytensä ja suurehkon hienoainespitoisuutensa takia.

Rogen-moreenit ovat jäätikön etenemissuuntaan nähden poikittaisia selänteitä, jotka voivat muodostua toisiinsa kytkeytyvistä kummuista. Ne syntyvät aktiivin, virtaavan jään pohjaosaan laaksoalueilla. Niiden muodostuminen edellyttää runsaan moreeniamaisen olemassaoloa ja näin ollen ne esiintyvät usein muiden varsinaisten moreenimuodostumien (drumliinit, kumpumoreenit) yhteydessä. Kooltaan Rogen-moreenimuodostumat vaihtelevat. Korkeus voi olla 10 - 20 m, leveys 50 - 150 m ja pituus jopa useita kilometrejä.

Materiaaliltaan Rogen-moreenien ydinosa on pääosin pohjamoreenia, joskin lajittuneen aineksen määrä on runsaampaa kuin drumliineissa. Pintakerrosten raakoostumus vaihtelee ja kivisyys voi olla suuri kuten myös pintalohkareisuus.

Pintakerrosten kivisyydestä johtuen Rogen-moreenien ainesta voidaan yleensä käyttää moreenimurskeen valmistamiseen.

Reunamoreenit/päätemoreenit ovat sulavan jäätikön reunaosaan syntyneitä moreenimuodostumia, joiden pituusakseli on poikittain jään liikesuuntaa vastaan. Jos jäätikön reuna pysyy pitkän aikaa samalla kohdalla, kasaantuu moreenista hyvin suuria päätemoreenimuodostumia, kuten esim. Salpausselät. Niiden muodostuessa jäätikköä reunusti Itämeri, jolloin suuri osa muodostumaa syntyi jäätikön sulavesien kerrostamana. Päätemoreeneissa lajittuneen aineksen osuus voi olla merkittävä.

Lyhyehköjenkin jään reunan pysähtymisvaiheiden aikana syntyi jään reunaosaan usein merkittävän kokoisia moreenimuodostumia, joissa aineksen raakoostumus ja lajittuneen materiaalin määrä ja laatu vaihtelevat.

Kokonaisuutena reunamoreenit sisältävät usein runsaasti murskauskelpoista ainesta.

Kumpumoreeni/ablaatiomoreenimuodostumia syntyy jäätikön reuna-
vyöhykkeessä jään liikkeen pysähtyessä ja jään sulaessa paikoilleen. Näin tapahtuu, kun runsaasti mineraaliainesta sisältävän jäätikön reuna päättyy laaksoalueilla kuivalle maalle tai melko matalaan veteen. Tällöin epätasaisen sulamisen ja sulavesien vaikutuksesta syntyy epämääräisen muotoisia kumpareita ja selänteitä, joilla ei ole yhtenäistä suuntausta.

Pintakerrosten moreeniamainen on kumpumoreenimaastossa useimmiten löyhempää, kivisempää ja lohkaraisempaa kuin pohjamoreeni.

Raekoostumukseltaan moreeni vaihtelee ja sisältää monesti sora- ja hiekkakerroksia.

Kumpumoreenimuodostumat voivat olla hyvin laaja-alaisia ja niihin liittyy myös muita moreenimuodostumia. Yleisesti kumpumoreeneita esiintyy myös harjujaksojen yhteydessä.

Kumpumoreenialueilta on usein löydettävissä murskauskelpoista moreenimateriaalia, ja koska muodostumat esiintyvät monesti laaja-alaisina kenttinä, on niistä saatavan hyödyntämiskelpoisen moreeniaineksen määrä erittäin suuri.

Taulukossa 1 on esitetty yleistettynä tärkeimpien moreenityyppien luonteenomaisia ominaisuuksia ja niiden suuruusluokkarajoja.

Taulukko 1: Moreenityyppien luonteenomaisia ominaisuuksia.

Muodostumatyyppe	Peite- moreeni	Drumliini	Rogen- moreeni	Kumpumoreeni/ Ablaatiomoreeni	Reunamoreeni/ Päätemoreeni
Suuntaus	ei suunt.	pitkittäinen	poikittainen	ei suunt.	poikittainen
Morfologinen luonne	peite	virtaviivainen harjanne	harjanne	kumpuja ja harjanteita	harjanne tai mäki
Homogeenisuus	homog.	homog.	vaihteleva	vaihteleva	vaihteleva
Kivisyys	1-3	1-2	3	2-3	2-3
Vedenläpäisevyys (k ₂₀ °C)(cm/s)	10 ⁻³ -10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
Lämmönjohtavuus (W/mK)w=vesipit.(%)	1,3 w15	1,52 w10	1,3-1,4 w12-15	1,4 w15	1,2-1,4 w12-15
Ominaislämpö- kapasiteetti (cal/g°C)	0,189	0,152	0,242	0,217	0,2
Tilavuuspaino (kN/m ³)	21-23	20	20-23	12-21	23-21
¹⁾ Kitkakulma CIUC-koe	35-37	39	39-41		34-39
¹⁾ Kitkakulma UU-koe	32-38	41	46		35-38
¹⁾ Koheesio CIUC-koe	10-29	23	20		10-57
¹⁾ Koheesio UU-koe	13-17	17	14		12-17
Proctor wopt (%)	5,3-6,8	5,5	5,6-6,9		6,3-8,2
Korjattu proctor- tiiviyys (kN/m ³)	21,1-22,0	21,1-22,0	19,8-20,7		19,0-20,0
Sopivuus kunnossa- pitosoraksi	yleensä ei	yleensä ei	yleensä sopiva	usein sopiva	vaihteleva

- 1) CIUC= isotrooppisesti konsolidoitu, suljettu koe
 UU = konsolidoimaton, suljettu koe
- Kivisyys (ki) suurinta seulafraktiota
 karkeamman kiviaineksen (yli 20 mm)
 runsaus:
 1 = kivetön
 2 = vähäkivinen
 3 = normaalikivinen
 4 = runsaskivinen
 5 = erittäin runsaskivinen

2.3 Moreenien esiintymisalueet ja määrät

Yhtenäistä hyödyntämiskelpoisten moreenialueiden kartoitusta ja moreenimäärien inventointia ei Suomessa ole tehty.

Tielaitoksen eri piireissä on kohdekohtaisia kartoituksia tai detaljiinventointeja suoritettu vaihtelevassa määrin.

Alueellisia tutkimuksia piirit ovat suorittaneet osaksi omilla resursseilla tai yhteistyössä Geologian tutkimuskeskuksen kanssa, jonka suorittaman

normaalin maaperäkartoituksen yhteydessä saadaan tietoa myös moreenin laadusta.

Suoritettujen tutkimuksien perusteella suurimmat mahdollisuudet eri alueilla on löytää tienrakennuksessa ja kunnossapidossa käyttökelpoista moreeniraaka-ainetta kumpumoreeni/ablaatiomoreenien esiintymäalueilta. Näiden moreenimuodostumien jakaantuminen ja laajuus ilmenevät Geologian tutkimuskeskuksen julkaisemasta maaperäkartasta (1 : 1 000 000). Kartassa pohjamoreenin päällä olevaa löyhää ja huuhtoutunutta kumpumoreenia on pinta-alasta 5,2 %. Niemelä ja Palmu arvioivat kumpumoreenien bruttovarannon olevan useita kymmeniä miljardeja kuutiometrejä. Murskauskelpoisuudeltaan luokkaan I kuuluvaksi he arvioivat em. määrästä noin 10 %, joten materiaalin nettovaranto on useita miljardeja kuutiometrejä.

Tielaitoksen eri piireissä potentiaalisten, hyödyntämiskelpoisten moreenien määrä vaihtelee suuresti.

Murskauskelpoisten moreenien kuutiomääräisiä inventointeja sekä arvioita on suoritettu vähän, sillä saman moreenimuodostumankin puitteissa materiaalin laatu vaihtelee etenkin syvyysuunnassa.

Tiepiireissä inventointitilanne vuonna 1990 on saatujen tietojen mukaan taulukon 2 mukainen. Arviot eivät ole alueellisesti kattavia, koska vaikeiden kulkuyhteyksien takaisia kohteita ei ole tutkittu.

Taulukko 2: Murskauskelpoisen moreenimateriaalin inventointi TIEL:n eri piireissä.

Piiri	Systemaattista moreeniaineksen inventointia	Tutkittuja kohteita tai koekuoppia	Murskauskelpoisia moreenikohteita (kpl tai m ³)
Uusimaa	-	-	-
Turku	-	-	-
Häme	Suurin osa alueesta	220	70
Kymi	Kolmella kumpumoreenialueella	150	10
Mikkeli	Suurin osa alueesta	178	29
Pohjois-Karjala	Osalla alueesta	14	n. 1 milj. m ³ itd
Kuopio	Suurin osa alueesta	617/957	7-8 milj. m ³ itd
Keski-Suomi	Suurin osa alueesta	250	75
Vaasa	Suurin osa alueesta	100	14
Keski-Pohjanmaa	Yksittäisiä kohteita	?	?
Oulu	Yksittäisiä kohteita ja lounaisosa	46	1
Kainuu	Osa alueesta	126	28
Lappi	Yksittäisiä kohteita	9	6

01 Uudellamaalla ja 02 Turun piirissä ei murskauskelpoisia moreenimuodostumia ole.

04 Hämeen piirissä koko alueesta on tutkittu noin 60 - 70 %. Koekuopituksella tutkituista 220 kohteesta murskauskelpoista moreenia on ollut 70:ssä. Kohteet on pääsääntöisesti valittu kumpumoreenialueilta ja jossain määrin reunamoreeneista.

- 05 Kymen piirissä on kolmella kumpumoreenialueella tutkittu 150 kohdetta, joista 10 on sisältänyt murskauskelpoista moreenianesta.
- 06 Mikkelin piirissä 1983 - 1985 välisenä aikana suoritetuissa kiviainestutkimuksissa koekuoppia on kaivettu 178 kpl, joista 29 on sisältänyt murskauskelpoista moreenia.
- 07 Pohjois-Karjalan piirissä on tutkittu peruskarttalehden alueelta 14 kohdetta, joista on arvioitu saatavan I:n luokan murskauskelpoista moreenia noin 935 000 m³itd.
- 08 Kuopion piirissä on v. 1982 - 1989 välisenä aikana tutkittu 617 kohdetta, joihin on kaivettu yhteensä 957 koekuoppaa. Murskauskelpoista moreenia on arviolta 7 - 8 milj. m³itd.
- 09 Keski-Suomen piirissä on tutkittu noin 250 kohdetta, joista 75 on ollut murskaukseen soveliaista.
- 10 Vaasan piirissä tutkittuja kohteita on ollut 100 kpl, joista murskaukseen soveliaita 14 kpl.
- 11 Keski-Pohjanmaalla laajamittaisia kartoituksia ei ole tehty, joskin alueella on käyttökelpoista ainesta sisältäviä kumpumoreenikenttiä.
- 12 Oulun piirissä on inventoituna useita kymmeniä yli 50 000 m³itr sisältäviä maa-ainekohteita, joista osa etenkin rannikkoalueella on pintakivisiä ohuita rantamuodostumia.
- Oulun piirin lounaisosassa murskauskelpoista moreenia on erittäin vähän, sillä esim. v. 1985 suoritetussa kiviainestutkimuksessa on kaivettu 46 koekuoppaa ja vain yhdessä on tavattu murskauskelpoista ainesta.
- 13 Kainuun piirissä tutkituista (8 kpl) moreenialueista 6 kpl on sisältänyt murskauskelpoista ainesta.
- Kiviainestutkimuksessa v. 1983 on tutkittu 126 koekuoppaa, joista 28 kpl on sisältänyt murskauskelpoista moreenia.
- 14 Lapin piirissä on 9 laajempaa kohdetta, joista 6 on sisältänyt soratien kulutuskerrokseen sopivaa moreenia.

Moreenimursketta on käytetty vain tien kulutuskerroksessa.

Tiehallituksesta saatujen tietojen mukaan moreenimurskeen keskimääräinen vuotuinen käyttö on suuruusluokkaa 200 000 m³itd.

2.4 Moreeniesiintymän tutkiminen

Ryhdyttäessä kartoittamaan hyödyntämiskelpoisia moreeniesiintymiä ensimmäisenä tehtävänä on pyrkiä karttatarkastelun avulla rajaamaan sellaiset moreenimuodostumat ja kohteet, joissa todennäköisimmin on

aikaisemmin saatujen kokemusten mukaan mahdollista löytää murskauskelpoista moreenia.

Tutkimuksen toteutus tapahtuu seuraavan kaavion mukaisena:

- alueelta saatavan geologisen tiedon hankinta ja omaksuminen
- ilmakuvantutkiminnan ja peruskartta-analyysin avulla suoritettava moreenimuodostumien rajausta käyttäen kriteereinä muodostuman syntytapaa, pintalohkareisuutta, massamäärää ja sijaintia
- maastokäynti potentiaalisilla kohteilla ja detaljitutkimuspisteiden valinta (vähintään 5 koekuoppaa/muodostuma)
- koekuoppien kaivu maastokelpoisella, mahdollisimman voimakkaalla (raskaalla) kaivurilla ja näytteiden otto
- seisminen ja/tai sähköinen luotaus muodostuman paksuuden arvioimiseksi koekuopituksessa soveliaaksi todetulla alueella.

Hyvänä lähtökohtana tutkimusten suunnittelulle ovat maaperäkartat mittakaavassa 1:20 000, joita on saatavissa osasta maata (liitekartta).

Moreenimuodostumien rajauksessa eri käyttötarkoituksiin (jalostusprosesseihin) voidaan käyttää taulukon 3 mukaisia yleisiä soveltuvuus-kriteereitä.

Taulukko 3: Moreeniamateriaalin käyttökelpoisuus tienpitomateriaalin eri jalostusprosesseihin.

Moreenin rakeisuus	Murskaus	Erottelu	Sekoitus	Stabilointi	
				Bitumisement.	Kalkki
Hienoainespit.(0,074)	< 20	15-(40)	< 30	< 20	> 35
Kivisyys	> 15	-	-	-	-
Moreenimuodostuman aineksen jalostettavuus					
Peitemoreeni/ pohjamoreeni	ei sovellu (vähän murskat- tavaa ainesta)	ei sovellu (paljon hieno- ainesta - vähän mater.tienpit.)	ei sovellu	ei sovellu	ei sovellu
Drumliini	yleensä ei (vähän kiviä)	soveltuu joskus	soveltuu joskus	soveltuu joskus	soveltuu joskus
Rogen-moreeni	yleensä sopiva	soveltuu	soveltuu	soveltuu	soveltuu
Reuna moreeni/ päätemoreeni	soveltuu	soveltuu	soveltuu	soveltuu	ei sovellu
Kumpumoreeni/ ablaatiomoreeni	soveltuu usein	soveltuu	soveltuu	soveltuu	ei sovellu

Peitemoreeni/pohjamoreeni muodostaa kallioperää verhoavan, ohuehkon ja omaa korkokuvaa vailla olevan kerroksen, joka on yleensä aina niin hienoainespitoista, että se ei kelpaa moreenimurskeen raaka-aineeksi. Satunnaisesti voi kärkearakeista pohjamoreenia olla pienialaisesti kalliose-
länteiden ns. suojasivulla.

Drumliinit muodostavat usein laajoja, virtaviivaisista selänteistä koostuvia kenttiä. Drumliinit on helppo tunnistaa esim. peruskartoilta muotonsa perusteella (pituussuunta on sama kuin jäätikön virtaussuunta).

Laajoina kenttinä esiintyessään drumliinit koostuvat pelkästään maa-aineksesta, joka raekoostumukseltaan on samaa suuruusluokkaa kuin alueen pohjamoreeni.

Yksittäin esiintyessään virtaviivaisilla selänteillä on yleensä kalliosydän, jonka suojanpuolella saattaa olla karkearakeistakin moreenia, joten koekuopat on parasta sijoittaa selänteen "alkupäähän" lakiosalle.

Rogen-moreenit ovat jäätikön etenemissuuntaan nähden poikittaisia selänteitä, jotka on helppo tunnistaa muodon ja suuntauksen perusteella.

Rogen-moreeneissa ydinosaa on pääosin pohjamoreenia. Pintakerrosten raekoko vaihtelee kuten myös kivisyys ja pintalohkareisuus.

Koekuopat on edullisinta sijoittaa muodostuman lakiosaan, keskelle ja molempiin laitoihin.

Reunamoreenit/päätemoreenit ovat sulavan jäätikön reunaosaan muodostuneita jään liikkeeseen nähden poikittaisia moreeniselänteitä, jotka on helppo tunnistaa muodon ja suuntauksen perusteella. Karkearakeisin aines on jäätikön reunan vastaisella osalla muodostumaa, joten koekuopitus on aiheellista aloittaa tältä reunalta.

Kumpumoreeni/ablaatiomoreenimuodostumat ovat parhaita murskauskelpoisen moreenin potentiaalisia esiintymisalueita. Ne koostuvat epämääräisen muotoisista kumpareista ja selänteistä, joilla ei ole yhtenäistä suuntausta.

Erillisissä kumpareissa aineksen raekoostumus vaihtelee huomattavasti kumpumoreenialueilla.

Pintakivisyys ja lohkaraisuus ei aina kuvaa ydinosan raekoostumusta, joskin se antaa viitteet koekuopituksen sijoittamiselle.

Jos kumpumoreenialueeseen liittyy harjujakso, tavataan karkearakeista moreenia yleisimmin lähellä harjua olevissa kumpareissa.

Koekuopitus on parasta aloittaa kumpareen tai selänteen lakiosalta ja jatkaa detalji-inventointia positiivisessa tapauksessa muodostuman reunoilta.

3 MOREENI MAANRAKENNUSMATERIAALINA

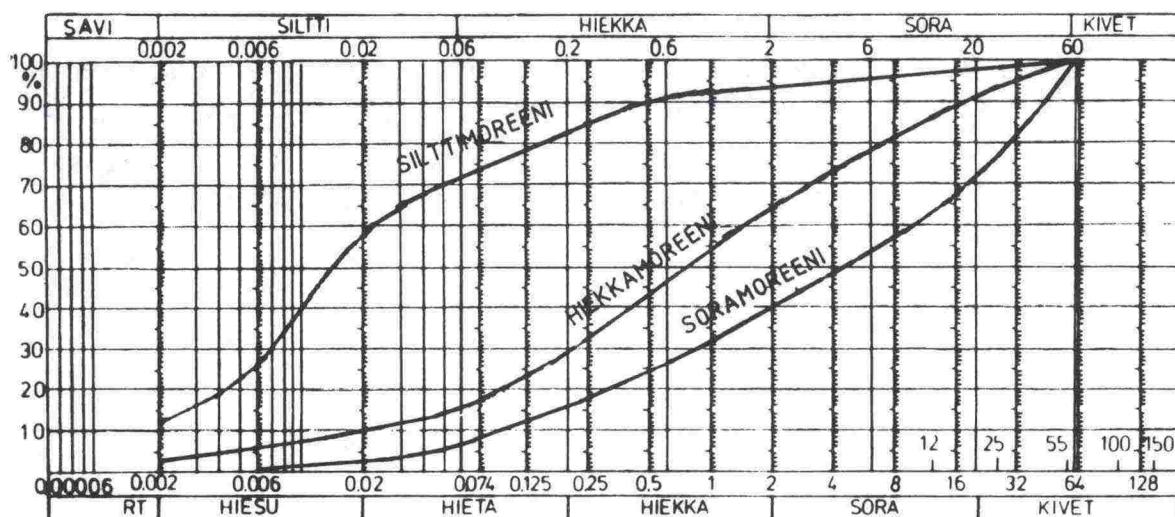
3.1 Moreenien geotekninen luokittelu

Moreeniksi sanotaan jäätikön toimintojen tuloksena syntynyttä lajittelema-
tonta maalajia, joka sisältää toisiinsa sekoittuneita useita eri lajitteita siltistä
soraan saakka sekä myös kiviä ja lohkkareita. Syntyavaltaan moreenimaala-
jit voidaan yleensä erottaa muista maalajeista silmänvaraisen tarkastelun
perusteella. Moreenimaalajit jaetaan lajitepitoisuuden perusteella d_{50} -mene-
telmällä siltti-, hiekka-, ja soramoreeneihin (taulukko 4). Kivien ja lohkkarei-
den määrä ilmoitetaan erikseen. Pelkästään lajitepitoisuuden perusteella
moreeniksi kutsutaan maalajia, jossa on vähintään 5 % hienoainesta sekä
5 % soralajitetta. Tällä tavoin lajitepitoisuuden perusteella nimitetty maalaji
ei aina ole syntyavaltaan moreenia.

Taulukko 4: Moreenien jako geoteknisen maalajiluokituksen mukaan
(Pohjarakennus 1974).

Maalaji	Lyhennys	Lajitepitoisuus (paino %)		Raekoko d_{50} mm
		Hienoaines	Sora	
Silttmoreeni	SiMr	≥ 50	≥ 5	$\leq 0,06$
Hiekkamoreeni	HkMr	5...50	5...50	0,06...2
Soramoreeni	SrMr	≥ 5	≥ 50	> 2

Kuvassa 1 on esitetty tavanomaisia moreenien raekokojakaumakäyriä.



Kuva 1: Moreenien tavanomaisia raekokojakaumakäyriä.

Kun tiedetään moreenin lajitepitoisuudet eli tunnetaan rakeisuuskäyrä, voidaan moreenille antaa lisänimet taulukon 5 mukaan.

Taulukko 5: Moreenimaalajin kuvaus lajitepitoisuuden perusteella (Pohjarakennus 1974).

Nimitys	Lyhennys	
Hiekkainen siltimoreeni	hkSiMr	Siltimoreenin hiekkapitoisuus 30 ... 50 %
Siltinen hiekkamoreeni	siHkMr	Hiekkamoreenin siltipitoisuus 30 ... 50 %
Sorainen hiekkamoreeni	srHkMr	Hiekkamoreenin sorapitoisuus 30 ... 50 %
Hiekkainen soramoreeni	hkSrMr	Soramoreenin hiekkapitoisuus 30 ... 50 %

Moreenin maalajit ovat suhteistuneita eli $d_{60}/d_{10} > 5$. Jos moreenin jokin lajite on merkittävästi toisia lajitteita vallitsevampi, moreenia sanotaan osittain lajittuneeksi. Saviaineksen määrä suomalaisilla moreeneilla on tavallisesti pieni, 0 - 5 % (Geomekaniikka I, 1985). Vesipitoisuus luonnonkosteilla moreeneilla on yleensä melko korkea verrattuna tasarakeisiin karkealajitteisiin maalajeihin. Vesipitoisuus vaihtelee vedellä kyllästetyillä moreeneilla 5 - 25 % (Kauranne et al). Vesipitoisuus on sitä suurempi, mitä enemmän moreeni sisältää hienoaainesta.

Moreenit tiivistyvät tiiviiksi johtuen hyvästä suhteistumisesta. Kuivatilavuuspainot moreeneilla ovat suurempia kuin tasarakeisilla maalajeilla. Moreenin tiiviyttä voidaan kuvata tilavuuspainon perusteella taulukon 6 mukaan.

Taulukko 6: Moreenin tiiviys tilavuuspainon perusteella (Pohjarakennus 1974).

Nimitys	Tilavuuspaino (kN/m ³)
löyhä	17 ... 19
keskitiivis	19,0 ... 21,0
tiivis	> 21,0

Moreenien geoteknisiä ominaisuuksia on esitetty taulukossa 7.

Moreeni on koheesiota ja kitkaa omaava välimaalaji. Karkeissa moreenimaalajeissa kuten sora- tai hiekkamoreenissa koheesion osuus on leikkauslujuudesta kuitenkin niin pieni, että moreenia voidaan pitää likimääräisissä laskelmissa kitkamaalajina. Siltimoreenissa koheesion merkitys saattaa olla huomattava nopeissa kuormitustilanteissa, joissa huokosveden ylipaine ei ehdi purkautua vaan huokosvedenpaine kasvaa suureksi. Huokosvedenpaineen purkautuessa kasvaa kitkan osuus liukuvastuksessa. Jos kuormitusnopeus on pieni, sanottavaa huokosvedenpainetta ei ehdi kehittyä. Tällöin voidaan siltimoreenia käsitellä kantavuus- ja vakavuuslaskelmissa likimäärin kitkamaalajina.

Taulukko 7: Eräitä moreenin geoteknisiä ominaisuuksia (Geomekaniikka I 1985, Pohja-rakennus 1974, Helenelund 1964, Ravaska 1970).

		Siltimoreeni SiMr	Hiekkamoreeni HkMr	Soramoreeni SrMr
Huokoisuus	n_o [%]	23...41	29...47	
Huokosluku	e_o	0,3...0,7	0,4...0,9	
Kiintotiheys	s [KN/m ³]	2,69...2,70	2,69...2,70	2,69...2,70
Tilavuuspaino	[KN/m ³]	19...22	18...22	20...22
Märkätilavuuspaino	[KN/m ³]	11...23	11...23	12...23
Vedenläpäisevyys ¹⁾	k [cm/s]	$10^{-6} \dots 10^{-10}$	$10^{-6} \dots 10^{-8}$	$10^{-4} \dots 10^{-6}$
Luonnontilainen vesipitoisuus	W [%]	5...25	5...15	5...15
Proctor-tiivys	d_{max} (KN/m ³)	20...23	20...23	20...23
Optimivesipitoisuus	W_{opt} [%]	8...12	5...10	5...8
Koheesio	C [kPa]	2...29	2...29	0
Kitkakulma ²⁾	[ast.]	32 \pm 6	35 \pm 6	37 \pm 6
Kapillaarinen nousukorkeus ³⁾	h_l [m]	>1 m	(>1 m) 0,5...2	(>1 m) 0,5...2
¹⁾ Vedenläpäisevyys vaihtelee riippuen moreenien tiiviydestä ja hienoainespitoisuudesta				
²⁾ Tiiviyden vaikutus: Hyvin tiivis +6°, tiivis +3°, keskitiivis +0°, löyhä -3°, hyvin löyhä -6°				
³⁾ Löyhässä, epähomogeenisessa moreenissa 0,5...2 m Tiiviissä hienorakeista-ainesta sisältävässä moreenissa kapillaarinen nousukorkeus on useita metrejä				

3.2 Maanrakennustekniset ominaisuudet

3.2.1 Yleistä

Maanrakennustekniset ominaisuudet kuvaavat maan käyttäytymistä rakennustöiden aikana sekä valmiissa rakenteessa. Maanrakennustöiden aikana teknisistä ominaisuuksista maan käsiteltävyys on tärkein. Valmiissa rakenteessa tärkeimpiä ominaisuuksia ovat maan kantavuus ja routivuus.

Tekniset ominaisuudet vaihtelevat samassakin maalajissa mm. ilmastollisten olosuhteiden (sade, lämpötila), työtavan sekä paikallisten olosuhteiden mukaan. Rakentamisen aikana tärkeimmät ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät ovat lämpötila sekä sade ja materiaalin kosteuspitoisuus. Valmiissa rakenteessa tärkeimpiä ominaisuuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat materiaalin tiivys, maa-aineksen kosteus, lämpötila ja vesiolosuhteet.

3.2.2 Käsiteltävyys

Maan käsiteltävyyttä tarkasteltaessa voidaan maanrakennusprosessi jakaa seuraaviin osavaiheisiin:

- kaivu
- kuljetus
- levitys ja läjitys
- tiivistys

Kaivun osatekijöitä ovat kaivuvastus ja kaivettavuus. Kaivuvastuksella eli irrotettavuudella tarkoitetaan sitä voimaa, joka tarvitaan maan irrottamiseen ja vähitellen täyttyvän kaivulaitteen tai vastaavan (esim. kauhan) liikuttamiseen.

Kaivuvastuksen ja kaivettavuuden perusteella jaetaan luonnontilaiset maalajit kaivuluokkiin taulukon 8 mukaisesti.

Moreenien kaivuvastus ja kaivuluokitus määräytyvät lähinnä aineksen tiiviiden, kivisyyden ja lohkaraisuuden perusteella. Suomalaisen moreenin raakoostumuksella ($d < 60$ mm) ei ole havaittu olevan sanottavaa vaikutusta kaivuvastukseen. Suurin kaivuvastus esiintyy yleensä tiiviissä pohjamooreenissa ja runsaskivisessä karkearakeisessa materiaalissa. Moreenissa kaivuvastus on yleensä huomattavasti suurempi kuin kivettömässä sorassa ja hiekassa ja varsinkin hienorakeisissa maalajeissa. Löyhien ja helposti kaivettavien moreenien kaivuvastus on yleensä yli 50 % suurempi kuin hiekan ja soran kaivuvastus (Hartikainen 1981) (taulukko 9).

Moreenin kaivettavuuteen vaikuttaa kaivuvastuksen lisäksi aineksen häiriintyminen. Häiriintyminen on suurinta runsaasti hienoainesta sisältävissä moreeneissa kuten hiekka- ja silttimoreeneissa. Sitä vastoin soramooreeneissa häiriintyminen yleensä on vähäistä. Häiriintymisherkkyys pienenee raakoon kasvaessa. Häiriintyminen on pääosiltaan riippuvainen moreenin vesipitoisuudesta. Jos luonnontilainen vesipitoisuus on korkea tai esim. sade kastelee moreenin, moreeni muuttuu kaivun ja liikuttelun vaikutuksesta erittäin häiriintyneeksi, usein lähes juokseväksi massaksi. Kaivettaessa häiriintyminen mm. pienentää kauhan täyttymistä sekä vaikeuttaa maarakennuskoneiden liikkumista, jolloin koneen kapasiteetti pienenee. Huomattavaa häiriintymistä alkaa esiintyä moreenin vesipitoisuuden noustessa noin 2 %-yksikköä yli optimivesipitoisuuden (Martti Eerola, 1984). Tyypillisessä suomalaisessa hiekkamoreenissa vesipitoisuus, jossa huomattavaa häiriintymistä alkaa esiintyä, on noin 11 - 13 % ja silttimoreenissa 11 - 14 % (Ravaska 1970).

Tiiviisti pakkaantuneet moreenimaalajit löytyvät kaivun yhteydessä paljon. Moreenimaalajien löyhtymiskertoimen arvot vaihtelevat yleensä välillä 1,25 - 1,50. (HkMr $1,35 \pm 0,10$, SiMr $1,40 \pm 0,10$) (TS-kortti TVH 732950 5009 A2, Kauranne et al). Maan löyhtyminen aiheuttaa mm. kuljetuskapasiteettitarpeen lisääntymistä, läjitysalueen kokovaatimuksen kasvamista ja rakennuspaikalla tiivistystyön lisääntymistä. Löyhtymiseen vaikuttavat moreenin tiiviys, kivisyys, kosteus ja käsittelytapa.

Maalajin kuljetettavuudella tarkoitetaan sen käyttäytymistä ajoneuvossa kuljetuksen ja tyhjentämisen aikana. Kuljetettavuus riippuu mm. vesipitoisuudesta, häiriintymisherkkyydestä ja raakoosta. Runsaasti vettä sisältävien (vesipitoisuus suurempi kuin optimivesipitoisuus) moreenin kuljettaminen sateisina vuodenaikoina on hankalaa, koska ne valuvat herkästi ajoneuvosta kuljetuksen aikana. Työmaateille valuva massa heikentää työmaateiden kuntoa ja pienentää kuljetuskapasiteettia. Aina kun juoksevassa tilassa olevaa moreenia joudutaan siirtämään, on teiden suunnittelussa pyrittävä välttämään jyrkkiä nousuja. Jos nousuja ei voida välttää, on ajoneuvojen lavat varustettava korotetuilla laidoilla (Hartikainen 1981).

Taulukko 8: Maalajien kaivuluokitus. Luonnontilaisten maalajien kaivuluokat ja määräävät luokitus-perusteet (TS-kortti TVH 732950 5006 A1).

Maa-laji-ryhmä	Kaivuluokka	Määräävät luokitusperusteet			
		Puisuus	Kivisyys	Lohkareisuus	Kuivairtoteihs
		Pu %	Ki %	Lo %	p t/m ³
E	E1 Liejut, muta				
	E2 Turpeet	< 30			
	E3 Turpeet	> 30			
H	H1 Savet				
	H2 Siltit				
	H3 Kuivakuoret				
K	K1 Hiekat				
	K2 Sorat		< 30		
	K3 Somero		30...50		
	Kivikko		> 50		
M	M1 Löyhät, kivettömät tai kiviset moreenit	< 30	< 10	< 1,9	
	M2 Keskitiiviit, kivettömät tai kiviset moreenit	< 30	< 10	1,9...2,1	
	M3 Tiiviit moreenit			> 2,1	
	Runsaskiviset moreenit	> 30	< 10		
	Lohkareiset moreenit		10...50		
	Louhikot		> 50		

Taulukko 9: Maalajien kaivuluokitus. Suhteellinen kaivuvastus eri kaivuluokissa - (TS-kortti 732950 5006 A1).

Maalajiryhmä	Kaivuluokka	Maalajit	Suhteellinen kaivuvastus
E	E1	Liejut, muta	5...15
	E2	Turpeet	10...30
	E3	Turpeet	20...40
H	H1	Savet	15...30
	H2	Siltit	20...50
	H3	Kuivakuoret	> 50
K	K1	Hiekat	50...150
	K2	Sorat	50...150
	K3	Somero, kivikko	200...300
M	M1	Moreenit	150...300
	M2	Moreenit	250...500
	M3	Moreenit	> 450

Maalajin läjitettävyydellä tarkoitetaan sen käyttäytymistä läjitysalueella. Läjitettävyys riippuu mm. maalajin vesipitoisuudesta, häiriintymisherkkyydestä ja raekoostumuksesta, toisin sanoen samoista tekijöistä kuin kuljetettavuus. Kaivun ja kuljetuksen yhteydessä tapahtunut häiriintyminen pienentää massojen läjityskorkeutta ja lisää tarvittavan läjitys-alueen kokoa.

Levitettävyydellä kuvataan maalajin käyttäytymistä levityksen aikana ja kuinka hyvin levityskalusto voi liikkua jo levitetyn maa-aineksen päällä. Levitettävyys riippuu samoista tekijöistä kuin läjitettävyys.

Jos vesipitoisuus on enintään optimivesipitoisuuden tasolla, vaikeuksia ei yleensä esiinny käsittelyn aikana. Jos vesipitoisuus nousee selvästi yli optimivesipitoisuuden, moreeni häiriintyy voimakkaasti kuljetuksen yhteydessä. Tällaisen moreenin läjitys on tavallisesti suoritettava maastopainanteisiin tai reunapenkereillä varustetuille alueille. Liikkuminen häiriintyneen moreenimassan päällä on lähes mahdotonta. Häiriintymisen ja huonon kantavuuden johdosta läjityskorkeus ei voi nousta kovin suureksi. Häiriintyneen moreenin vesipitoisuuden pienetessä sen kantavuus lisääntyy kuitenkin melko nopeasti. Moreenin läjityksessä on otettava huomioon maan mahdollinen valuminen jälkeenpäin roudan sulamisvaiheen ja sateiden aikana.

Moreenin häiriintymistä voidaan ehkäistä kiinnittämällä erityistä huomiota käsiteltävän materiaalin kosteuteen ja kuivatukseen mm. seuraavilla tavoilla:

- vältetään herkästi häiriintyvän moreenin käsittelyä sateella
- ojitetaan kaivettava alue ennen kaivua, jotta maan vesipitoisuus pienenee
- lyhennetään häiriintymisalttiin materiaalin kuljetusmatkaa
- ennakoidaan tulevaa kuormausta läjitysalueella edesauttamalla läjien kuivumista ja estämällä lisäveden pääsy läjiin. Läjien kuivumista voidaan parantaa läjittämällä hyvin vettäjohtavan maan päälle tai salaojittamalla läjitysalue. Lisäveden (sadeveden) pääsyä voidaan estää peittämällä läjät esim. muovikalvolla.

Vesipitoisuudella on huomattava vaikutus moreenien tiivistettävyyteen. Tiivistäminen olisi pyrittävä suorittamaan lähellä optimivesipitoisuutta, joka moreenilla vaihtelee 5 - 12 % (kts. taulukko 7). Luonnontilaisen moreenin vesipitoisuus on usein jonkin verran suurempi kuin optimivesipitoisuus, jolloin tiivistämistyö vaikeutuu. Jos vesipitoisuus on yli 2 %-yksikköä suurempi kuin optimivesipitoisuus, tiivistettävä moreeni (hiekk- tai silttimoreeni) voi menettää kantavuuden lähes kokonaan. Tällöin tiivistämistyö joudutaan tavallisesti keskeyttämään. Keskeytyksen pituus riippuu maan vedenläpäisevyydestä. Mitä parempi vedenläpäisevyys on, sitä nopeammin voidaan tiivistystyötä jatkaa. Hiekkamoreenilla vesipitoisuus laskee yleensä riittävästi jo samana päivänä. Silttimoreenilla kuivuminen voi kestää useita viikkoja.

3.2.3 Kantavuus

TIEL:n kantavuusmitoitusmenetelmässä on alusrakenteena olevalle moreenille annettu taulukon 10 mukaisia kantavuuksia, jotka ovat kevään heikoimman tilanteen E-moduuleja (Teiden suunnittelu 1985).

VTT:n (Jämsä 1985) TVH:lle tekemässä tutkimuksessa, joka on yhteenveto vuosien 1976 - 1984 alusrakenteen in situ -kantavuusmittauksista, havaittiin hiekkamoreenin alhaisimpien arvojen vastaavan hyvin normeissa annettuja arvoja. Silttimoreenin osalta todettiin, että mitatut E-moduulin arvot olivat suurempia kuin eo. ohjearvot. Tähän olivat syynä mittauskohteen hyvät olosuhteet (tierakenteen hyvä kuivatus ja pohjaveden sijainti syvällä) sekä mittausten vähäinen lukumäärä. Tutkimuksessa käytetyille hiekkamoreeneille ei vesipitoisuuden kasvu aiheuttanut merkittävää E-moduulin laskua. Vesipitoisuuden vaikutusta silttimoreeniin ei tutkittu. Eri moreenien kantavuudet vaihtelivat Gaussin käyrän 20 - 80 % alueella seuraavasti (suluissa on esitetty otannan maksimiarvot):

- hiekkamoreeni (siHkMr, HkMr) $E_2 \sim 25...105 \text{ MPa}$
($E_{\max} \sim 150 \text{ MPa}$)
- silttimoreeni (hkSiMr) $E_2 \sim 40...100 \text{ MPa}$
($E_{\max} \sim 100 \text{ MPa}$)

Taulukko 10: Moreenialusrakenteen kantavuus.

	Lyhenne	Alusrakenne	
		Pohjamaa	Kuiva penger
		E-moduuli [MN/m ²]	
Routimaton soramoreeni	rton SrMr	100 (70...150)	100 (70...150)
Routiva soramoreeni (kuivana)	SrMr	20 (15...35)	35 ¹⁾
Routiva soramoreeni (märkänä)	SrMr	10 (5...15)	10 (5...15)
Routimaton hiekkamoreeni (kuivana)	rton HkMr	50 (35...70)	50 (35...70)
Routimaton hiekkamoreeni (märkänä)	rton HkMr	20 (15...35)	
Routiva hiekkamoreeni (kuivana)	HkMr	20 (15...35)	35 ¹⁾
Routiva hiekkamoreeni (märkänä)	HkMr	10 (5...15)	10 (5...15)
Siltti tai silttimoreeni (kuivana)	SiMr	10 (5...15)	20
Siltti tai silttimoreeni (märkänä)	SiMr	5 (0,5...5)	
¹⁾ Kantavuudeksi voidaan valita 35 MN/m ² , jos hienoinesta on enintään 20 % ja paikka ei ole märkä.			
Maa-aines on märkä, kun pohjavesipinta on alle 1 m etäisyydellä alusrakenteen pinnasta tai paikkaan kerääntyy pintavesiä.			
Jos penkereen paksuus on vähintään 1 m, käytetään alusrakenteen kantavuutena kuivan penkereen kantavuuksia. Alle 1 m paksuisissa penkereissä kantavuus määritetään Odemarkin yhtälöä käyttäen.			

Moreenin kantavuuteen vaikuttaa oleellisesti maan vesipitoisuus. Jos moreenin vesipitoisuutta voidaan vähentää, voi moreenin kantavuus kasvaa joissakin tapauksissa yli 2-kertaiseksi. Raekoon kasvaessa vesipitoisuuden vaikutus kuitenkin pienenee.

Tiivistyksellä on myös hyvin suuri merkitys kantavuuteen, esim. K.V. Helelündin (1964) tekemissä mittauksissa saatiin siHkMr:lle seuraavia

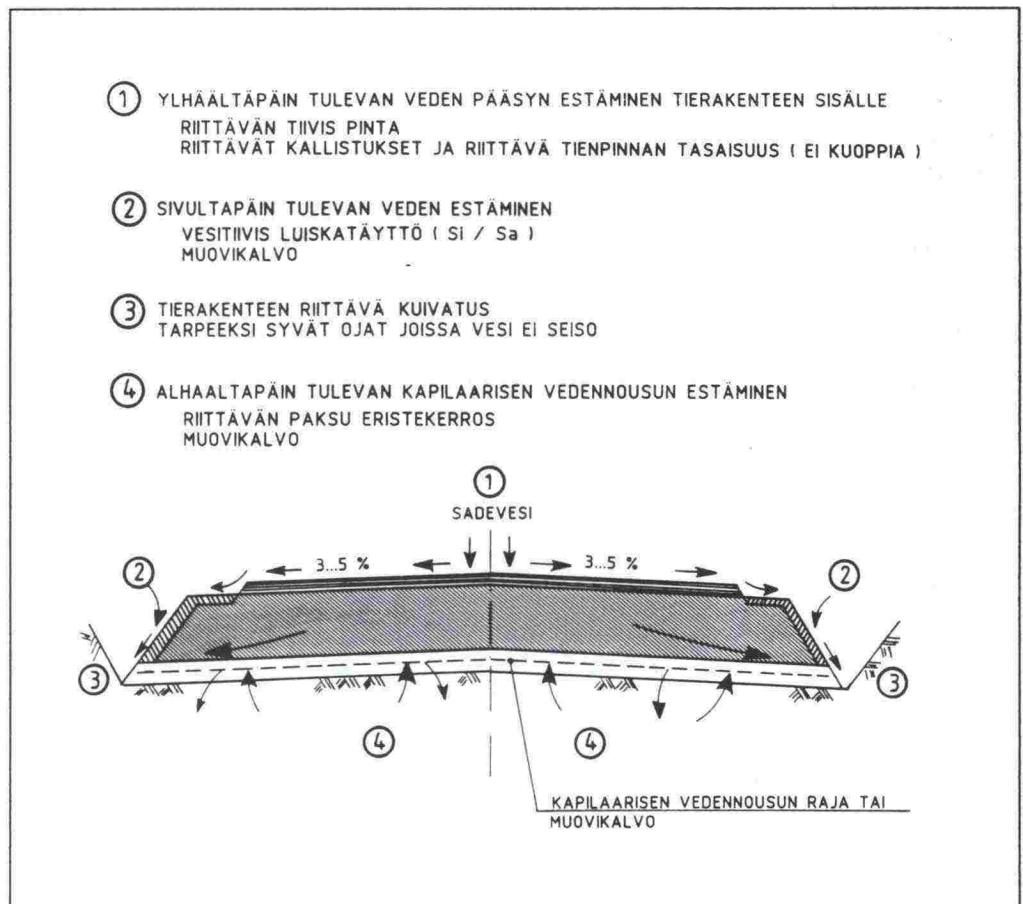
kantavuusvaihteluita tiiviyden mukaan: keskitiivis $siHkMr E_2 \sim 25$ MPa ja hyvin tiivis $siHkMr E_2 \sim 150 - 200$ MPa.

Jos halutaan käyttää tielaitoksen ohjeessa esitettyjä kantavuuksia suurempia arvoja, tulee kuivatuksen olla niin hyvä, ettei tierakenteessa oleva moreeni pääse missään olosuhteissa kastumaan. Tällöin voitaisiin päällysrakenteen sitomattomissa kerroksissa käytettäville moreeneille esittää suuruusluokaltaan seuraavanlaisia kantavuusarvoja (E-moduuleja):

* SrMr	E ~ 120 MPa
* HkMr	E ~ 100 MPa

Arvojen käyttö edellyttää tiivistämisen ja kuivatuksen erittäin huolellista suunnittelua ja toteuttamista.

Kuivatusta voidaan parantaa tierakenteessa tekemällä riittävän syvät ojat ja johtamalla vedet pois ojien avulla. Pintavesien imeytymistä tierakenteeseen voidaan estää muotoilemalla tienpinta oikein (kallistukset) ja tekemällä pinnasta tarpeeksi tiivis. Veden imeytymistä luiskien kautta tierakenteeseen voidaan ehkäistä huonosti vettäläpäisevällä luiskatäytöllä. Kosteuden nousu pohjamaan kautta päällysrakenteeseen voidaan taas estää riittävän paksulla eristyskerroksella tai muovikalvolla (kts. kuva 2).



Kuva 2: Tierakenteen kuivatus

Moreenikerroksen alle olisi hyvä laittaa hyvin vettäläpäisevä maakerros esim. hiekkaa tai soraa, jotta moreenissa mahdollisesti oleva kosteus pääsisi paremmin poistumaan. Koska moreeni on erittäin kantava kuivana, on kokeiltu muovikalvolla paketoituja rakenteita (Mäntsälän tiemestaripiiri ja Kuopion kaupunki). Mäntsälän kokeissa esiintyi vaurioita muovikalvon päällä ja luiskissa olevissa kerroksissa (Eerola 1984). Kuopiossa saadut kokemukset sitä vastoin olivat erittäin myönteisiä. Paketoidulla rakenteella voitiin vähentää selvästi kadun routivuutta ja kadun kantavuus on pysynyt hyvänä.

Mäntsälässä muovikalvolla eristetyssä rakenteessa oli jälkitiivistyminen suurta, koska rakennetta tiivistettiin vain varovasti, ettei muovikalvo rikkoutuisi. Saavutetut kantavuudet olivat kuitenkin hyviä. Ensimmäinen kevätkantavuus oli suurempi kuin rakentamisen jälkeinen kantavuus (Saarela 1980).

Moreenikerroksen tiiviyyttä voidaan lisätä käyttämällä riittävän tehokasta tiivistyskonetta (esim. raskas täryjyry) ja suorittamalla tiivistäminen optimivesipitoisuudessa (kts. taulukko 7).

Kommentteja TIEL:n käyttämästä kantavuuden arvioinnista

Jotta voitaisiin mitoitaa päällysrakenne oikein, tulee tietää alusrakenteen kantavuus. Moreenin osalta TIEL:n käyttämässä alusrakenteen kantavuuden määrittämisessä märkyyden arviointi märkä/kuiva on varsin karkea. Kuten aikaisemmissa luvuissa on todettu, moreenin lujuuteen vaikuttaa huomattavasti sen vesipitoisuus. Moreeni voi menettää lujuutensa lähes kokonaan, jos sen vesipitoisuus ylittää selvästi optimivesipitoisuuden. Parempi menettelytapa olisi vesipitoisuuteen perustuva märkyyden arviointi. Lisäksi kantavuuden arvioinnissa tulisi huomioida maan routiminen. Routiminen lisää vesipitoisuutta routivassa kerroksessa ja tätä kautta heikentää kantavuutta.

Moreenin kantavuutta alusrakenteena voitaisiin arvioida esim. seuraavasti:

- 1) määritetään maa-aineksen rakeisuus, vesipitoisuus ja optimivesipitoisuus laboratoriotestein
- 2) määritetään maan tiiviys perustuen paino (heijari-) kairauksiin
- 3) määritetään moreenityyppi rakeisuuskäyrän avulla
- 4) verrataan näytteen vesipitoisuutta optimivesipitoisuuteen
- 5) määritetään alustava kantavuus perustuen

- rakeisuuteen
- tiiviyyteen
- moreenityyppiin
- vesipitoisuuteen

- 6) määritetään routivuus perustuen maan

- maa-aineksen routimisherkkyyteen (esim. TIEL:n routakriteerio)
- routimisolosuhteisiin (esim. TIEL:n routaolosuhdeluokitus)

7) määritetään alusrakenteen lopullinen kantavuus

- alennetaan alustavaa kantavuutta sen mukaan, routiiiko maa vai ei.

3.2.4 Routivuus

Maan lämpötilan laskiessa jäätymislämpötilan alapuolelle alkaa maan huokosissa oleva vesi jäätyä eli maa routaantuu. Maan jäätyminen tapahtuu maahan kesä kautena varastoituneen lämmön virratessa pakkaskautena ulkoilmaan. Routimiseksi kutsutaan sellaista maan routaantumista, jossa maakerrosten tilavuus kasvaa. Tilavuuden kasvu johtuu jäätyvään maakerrokseen imeytyvästä vedestä ja jäätyvän veden laajenemisesta (9 %). Syntyvä tilavuuden kasvu tapahtuu suurimmaksi osaksi ylöspäin ilmeten maan pinnan kohoamisena eli ns. routanousuna. Routineen maan sulaessa maassa oleva ylimääräinen vesi pyrkii poistumaan, jolloin keväällä maassa tapahtuu sulamisheikkenemistä. Sulamisheikkeneminen loppuu, kun ylimääräinen vesi on poistunut maakeiden välisistä huokosista eli kun maassa oleva huokospaine palautuu nollaan.

Maan routimisen edellytyksinä on:

- 1) routimisherkkä maa (routiva maa)
- 2) maan lämpötila laskee alle jäätymispisteen
- 3) maassa on routimiskerroksen läheisyydessä riittävästi vettä tai vesi pääsee nousemaan routimiskerroksen.

Jos edellä mainituista tekijöistä yksikin puuttuu, ei routimista tapahdu tai jos yksikin tekijöistä toteutuu puutteellisesti, on routiminen vähäistä.

Routanousun ja kantavuuden heikkenemisen määrään vaikuttavat routivassa maassa usein olosuhdetekijät enemmän kuin maalajitekijät. Routivuuteen vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat mm. pohjavesipinnan korkeus, pakkasmäärä, routivan kerroksen päällä oleva kuormitus, roudan tunkeutumisenopeus ja roudan syvyys. Pohjavesipinnan korkeuden, pakkasmäärän ja roudan syvyyden kasvaessa lisääntyy routimisen todennäköisyys routimisherkkässä maassa. Routivan kerroksen päällä oleva kuormitus vähentää ko. kerroksen routimista. Roudan tunkeutumisenopeuden pienentyessä routimiselle edullisissa olosuhteissa routimisen määrä lisääntyy routimisherkkässä maassa. Määritettäessä tai ehkäistäessä tapauskohtaisesti routivuutta tulee erityisesti olosuhdetekijät ottaa huomioon.

Maan routimisherkkyyttä voidaan arvioida eri routivuuskriteerien avulla, joita nykyään on yli 100 erilaista. Kriteerit voidaan jakaa ryhmiin sen mukaan mihin ne perustuvat seuraavasti:

1. Luokitusominaisuuksiin perustuvat routivuuskriteerit

- rakeisuus
- konsistenssi
- ominaispinta-ala ja huokoskokojakauma
- hienoustekijä

2. Hydraulisiin ominaisuuksiin perustuvat routivuuskriteerit

- kapillaarinen nousukorkeus
- vedenläpäisevyys
- vedenpidätyskäyrä

3. Routanousukokeisiin perustuvat routivuuskriteerit

- vakiolämpötilakoe
- vakioroutaantumisnopeuskoe
- lämmön poistumiseen vakionopeudella perustuva koe.

Fribergin ja Slungan tekemässä tutkimuksessa (1989) "Maalajien routivuuskriteerien kehittäminen" todettiin tiivistäen seuraavaa:

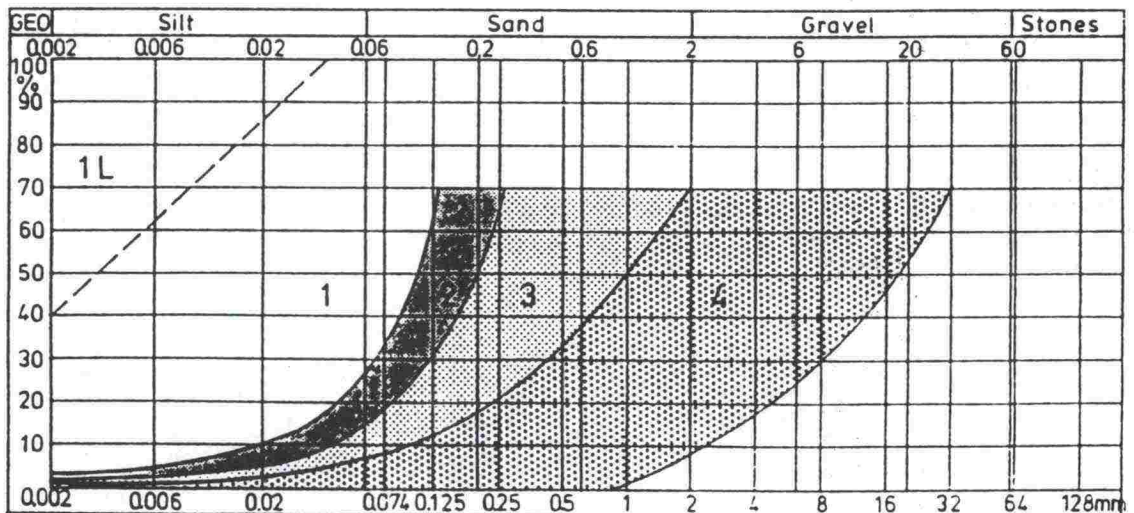
- Rakeisuuteen perustuvalla menetelmällä voidaan maalajin routivuus arvioida melko luotettavasti. Puutteena tässä menetelmässä on se, että sillä voidaan arvioida ainoastaan, onko maalaji routivaa tai routimaton, mutta se ei tunne astevaihteluita routivissa maalajeissa.
- Plastisuuteen perustuvat menetelmät antavat jo luotettavamman kuvan maalajien routivuudesta astevaihteluidenkin osalta. Niiden heikkoutena on karkeampirakeisten maalajien kohdalla plastisuusominaisuuksien määrittämisen vaikeus.
- Ominaispinta-alan ja huokoskokojakaumaan perustuvien menetelmien käytön esteenä on selvien routivuuskriteerien puuttuminen. Näistä menetelmistä voitaneen kuitenkin kehittää moreenimaalajien routivuuden arviointiin sopiva kriteeri.
- Hienoustekijään perustuva routivuuskriteeri on käyttökelpoinen. Menetelmän käyttöä haittaa kuitenkin tehtyjen kokeiden vähyys, minkä takia tarkkoja rajoja eri routivuusluokille ei ole voitu vetää. Lisäksi kriteerin käyttöä vaikeuttaa juoksurajan määrittäminen luotettavasti etenkin silteillä.
- Hydraulisiin ominaisuuksiin perustuvat routivuuskriteerit ovat vielä voimakkaassa kehittelyvaiheessa. Suurin puute monien kriteerien osalta on riittävän vertailumateriaalin ja selvien luokitusohjeiden puuttuminen. Poikkeuksen muodostaa kapillaariseen nousukorkeuteen perustuva luokitus, jonka perusteella maalajit voidaan melko luotettavasti luokitella ainakin routiviin ja routimattomiin. Savimaalajien osalta arviointi edellyttää kehitystyötä.
- Hydraulisten ominaisuuksien käyttö routivuusluokituksessa antaa parhaimman tuloksen, kun niitä käytetään yhdessä luokitusominaisuuksiin perustuvien routivuusluokitusten kanssa tarkentamassa ja selkeyttämässä luokitusta.

Seuraavassa on esitetty joitakin moreenin routivuuden arviointiin sopivia kriteerejä tarkemmin.

TIEL:n teiden suunnitteluohjeissa on esitetty rakeisuuteen perustuva routivuuden määrittely. Maalajin rakeisuuskäyrä määritetään seulonnan ja tarvittaessa areometrikokeen avulla. Saatua rakeisuuskäyrää verrataan kuvan 3 käyriin, minkä perusteella saadaan selville maalajin routivuus.

Maalaji, jonka rakeisuuskäyrä on alueella 1, on routiva. Maalaji, jonka rakeisuuskäyrä kulkee alueilla 2, 3 tai 4, on routimaton, ellei käyrän alapää pääty pysyvästi vasemmanpuoleisen rajakäyrän yläpuolelle. Ne maalajit, joiden rakeisuuskäyrät sijaitsevat alueella 1L, ovat lievästi routivia. Epäselvissä tapauksissa suoritetaan rakeisuusmäärityksen lisäksi joko kapillaarisuustai routanousukoe. Maalaji, jonka kapillaarisuus on alle 1 m, katsotaan routimattomaksi.

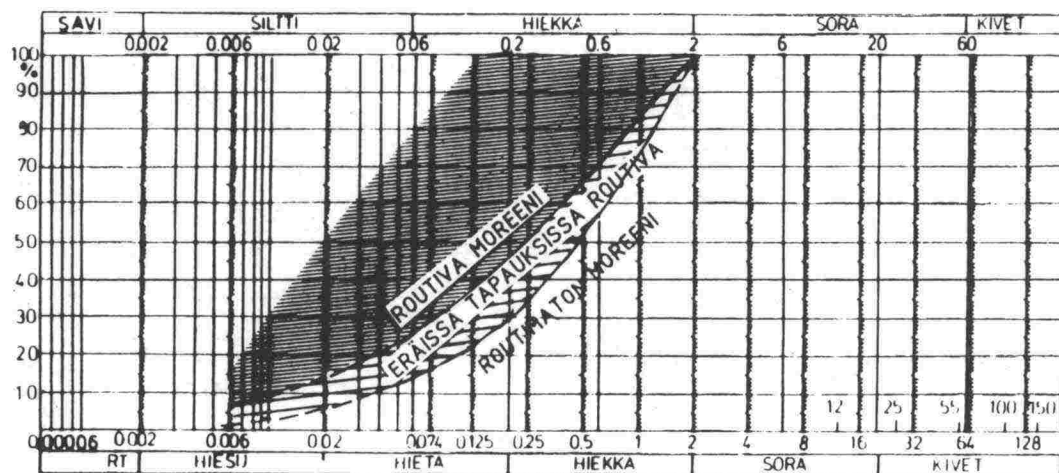
Pelkkään rakeisuuskäyrään perustuva routivuuden arvioiminen on melko karkea menetelmä. Hieman tätä menetelmää tarkempi routivuuden määrittystapa on Beskowin nimenomaan moreenille kehittänyt menetelmä. Beskowin routivuuskriteerin pohjana ovat rakeisuudet 0,062 mm ja 0,125 mm sekä maalajin kapillaarisuus. Beskowin kriteeri on esitetty taulukossa 11 ja kuvassa 4.



Kuva 3: Maalajien routivuuden arvostelu rakeisuuden perusteella (Teiden suunnittelu 1985 ja Maalajien routivuuskriteerien kehittäminen (Friberg & Slunga 1989)).

Taulukko 11: Beskowin routivuuskriteeri (Susimaa 1981).

Luokitus	Moreeni $C_u > 20$ Sedimentti- maalaji $C_u < 20$	50 % läpäisyä vast.raekoko d_{50} mm	Alle 0,062 ja 0,125 mm rakei- den määrä painoprosentteina laskettuna 2 mm pienemmästä materiaalista		Kapillaarisuus h_c m
			0,062 mm	0,125 mm	
Routimaton	Sedimentti Moreeni	0,1 -	< 30 < 15	< 55 < 22	1
Tietyissä olosuh- teissa routiva kuten korkean pohjavedenpinnan ja hitaan routaan- tumisen vallitessa	Sedimentti	0,1 - 0,07			
	Moreeni	-	30 - 50	-	1 - 1,75
	Sedimentti	0,8 - 0,05		22 - 36	
	Moreeni	-	15 - 25		1,25 - 2,50
Normaalisti routiva pohjavedenpinnan syvyydellä 1,5 m (moreeni 1,0 m)	Sedimentti	> 0,05	> 50	-	2 - n. 20
	Moreeni		> 25	36	
Routiva savi	Sedimentti	-	-	-	n. 20
Routimaton savi	Sedimentti				



Kuva 4: Beskowin routivuuskriteeri moreenille.

Vedenläpäisevyyden perusteella routivuutta voidaan arvioida taulukon 12 (Chamberlain 1981) mukaisesti.

Vedenläpäisevyyteen perustuva routivuusluokitus ottaa huomioon myös sen, että savet ovat useasti routimattomia tai lievästi routivia maalajin pienestä vedenläpäisevyydestä johtuen. Vedenläpäisevyyteen perustuvalla routivuusluokituksella saadaan käsitys maan routimattomuudesta tai routivuudesta, mutta ei routivuuden astevaihteluista (Friberg & Slunga 1989).

Taulukko 12: Routivuus vedenläpäisevyyden perusteella (Chamberlain 1981)

Routivuus	Kyllästetyn maan hydraulinen johtavuus k m/s
Routimaton	$k \leq 1,0 \times 10^{-9}$
Rajatapaus	$1,0 \times 10^{-9} \leq k \leq 1,3 \times 10^{-9}$
Routiva	$1,3 \times 10^{-9} \leq k \leq 1,7 \times 10^{-9}$
Rajatapaus	$1,7 \times 10^{-9} \leq k \leq 1,0 \times 10^{-8}$
Routimaton	$k \leq 1,0 \times 10^{-8}$

Maalajin routivuus, jota voidaan kuvata esimerkiksi segregatiopotentiaalilla, riippuu voimakkaasti hienoaineksen eli 0,074 mm:n seulan läpäisseen aineksen määrästä, savipitoisuudesta hienoaineksessa ja juoksurajasta. Juoksurajan avulla huomioidaan plastisuuden ja mineralogisten tekijöiden vaikutus. Nämä eri tekijät voidaan yhdistää niin sanotuksi hienoustekijäksi (fines factor) seuraavan kaavan mukaisesti (Rieke et al 1983).

$$R_f = \frac{(\% \leq 0,074 \text{ mm}) [(\% \leq 0,002 \text{ mm}) / (\% \leq 0,074 \text{ mm})] \times 100 \%}{w_L (0,074 \text{ mm})}$$

jossa

R_f	hienoustekijä, %
$\% \leq 0,002 \text{ mm}$	savipitoisuus, %
$\% \leq 0,074 \text{ mm}$	hienoaineksen määrä, %
$w_L (0,074 \text{ mm})$	0,074 mm:n seulan läpäiselle ainekselle määritetty juoksuraja, %

Maalajin routivuus hienoustekijän R_f (%) perusteella arvioidaan seuraavasti:

- $R_f \leq 2,5$; maalaji on routimaton
- $2,5 \leq R_f \leq 5$; maalaji on lievästi routivaa
- $5 \leq R_f \leq 10$; maalaji on keskinkertaisesti routivaa
- $R_f \leq 10$; maalaji on erittäin routivaa.

CRREL-kokeessa pyritään säilyttämään routarintaman etenemisnopeus vakiona (0,6 - 1,3 cm/vrk) ja mitataan tästä aiheutunut routanousunopeus. Routanousunopeuden perusteella voidaan maalajit luokitella routivuusluokkiin esimerkiksi taulukon 13 (Chamberlain 1981) mukaisesti.

Taulukko 13: Routivuusluokitus routanousunopeuden (CRREL-koe) perusteella (Chamberlain 1981).

Routivuusluokka	Keskimääräinen routanousunopeus mm/d
Routimaton	0 - 0,5
Erittäin lievästi routiva	0,5 - 1,0
Lievästi routiva	1,0 - 2,0
Keskinkertaisesti routiva	2,0 - 4,0
Erittäin routiva	4,0 - 8,0
Erittäin voimakkaasti routiva	8,0

Yhteenvedona eri kriteereihin perustuvasta routivuuden, maalajin routimisherkkyyden arvioinnista, voidaan todeta, että maalajin routimisherkkyys voidaan melko luotettavasti arvioida. Koska routiminen kuitenkin riippuu paljon routimisolosuhteista, kuten vapaan veden määrästä jäätymisrintamassa, tulisi routivuuden arvioinnissa erityisesti kiinnittää huomiota routimisolosuhteiden arvioimiseen. Paikallisista olosuhteista etenkin pohjaveden korkeus ja routimissyvyys lisäävät routimisen todennäköisyyttä.

Routimisherkkyyden arvioinnin pohjana voitaisiin käyttää Beskowin routivuuskriteeriä tai TIEL:n käyttämää routivuuden arviointia. Rajatapauksissa voidaan routivuutta yrittää arvioida muilla routivuuskriteereillä. Routimisolosuhteiden täyttymistä, routimisen todennäköisyyttä, voidaan arvioida hydrologisten olosuhteiden (kuva 5) ja pakkasmäärän avulla (kuvat 6 ja 7). Epäselvissä rajatapauksissa tulisi routivuus määrittää routanousukokein.

Routivuutta voidaan pienentää muuttamalla routimisolosuhteita tai vähentämällä hienoaineksen prosentuaalista määrää routivassa maa-aineksessa. Routimisolosuhteisiin voidaan vaikuttaa mm. kuivattamalla, lämpöeristämällä tai kosteuseristämällä. Maalajin prosentuaalista hienoaineksen määrää voidaan muuttaa vähentämällä suoraan hienoaineksen määrää esim. seulomalla, lisäämällä karkeita aineksia tai sitomalla hienoaineksia yhteen esim. sekoittamalla sementtiä maahan.

Alusrakenne

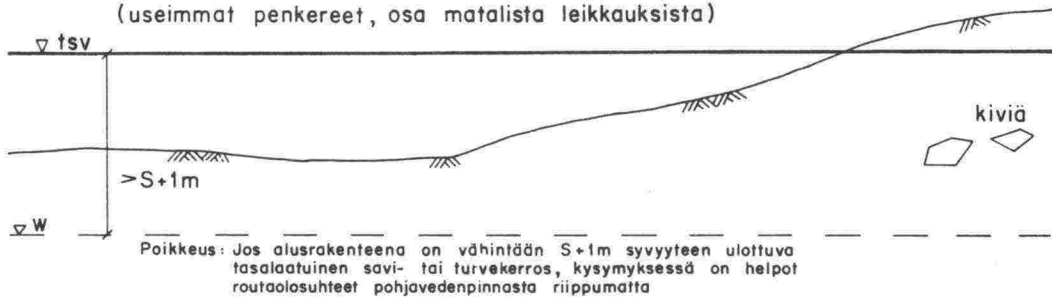
TVL

16.9.1985

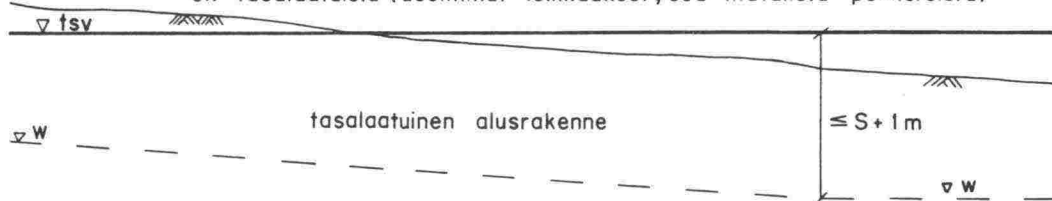
Routimisen rajoittaminen

Alusrakenteen routaolosuhteet

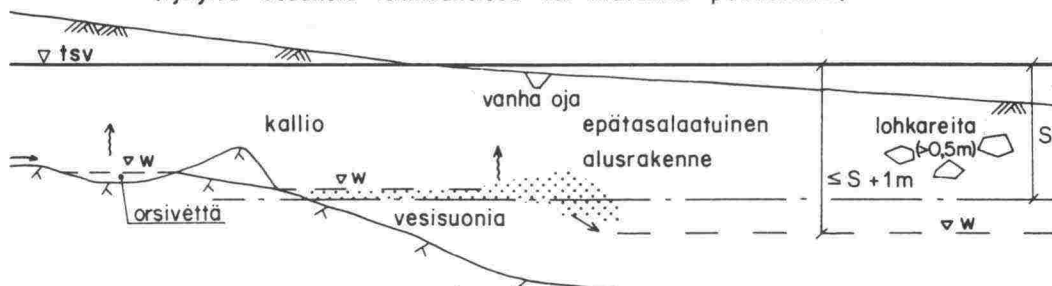
Helpot: pohjavesi on kaukana (yli $S+1\text{m}$) tasausviivasta
(useimmat penkereet, osa matalista leikkauksista)



Keskivaikeat: pohjavesi on lähellä (enintään $S+1\text{m}$) tasausviivaa, mutta alusrakenne on tasalaatuista (useimmat leikkaukset, osa matalista penkereistä)



Vaikeat 1: pohjavesi on lähellä (enintään $S+1\text{m}$) tasausviivaa ja alusrakenne on epätasalaatuista: siirtymäkiilasyvyyden yläpuolella on lohkareita ($>0,5\text{m}$), vedenläpäisevyydeltään erilaisia kerroksia, kallio (lyhyitä osuuksia leikkauksissa tai matalilla penkereillä)



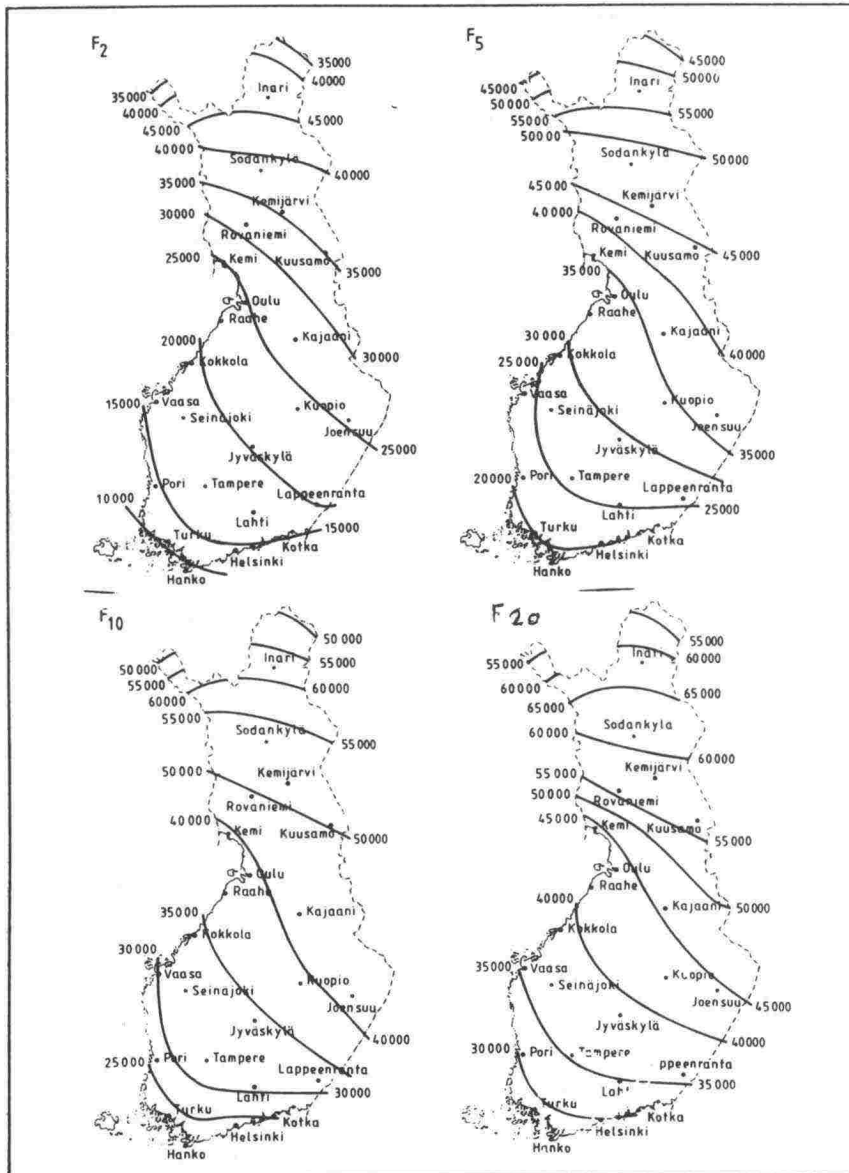
Vaikeat 2: tierakenteen alle virtaa vettä sivulta (leikatuista maakerroksista, rinteestä, lähteestä, ojasta, suolta)



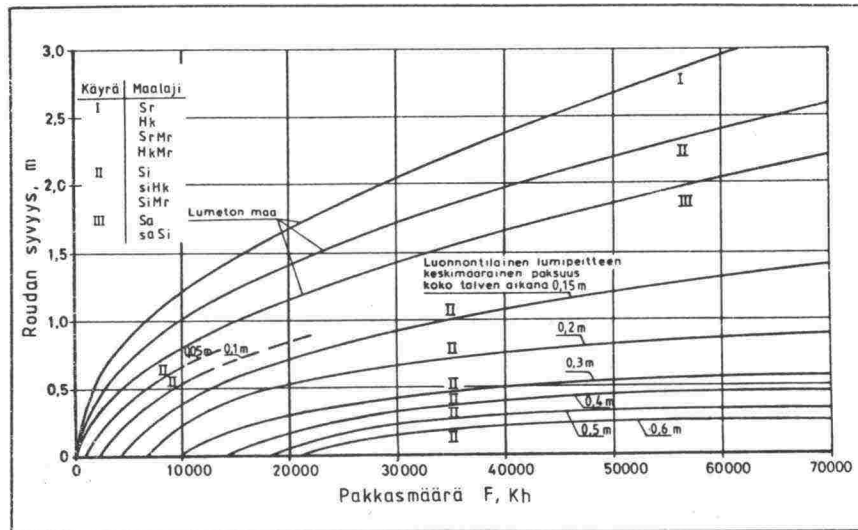
S = siirtymäkiilasyvyys

Tarvittavat roudantorjuntakeinot on esitetty tekstissä.

Kuva 5: Alusrakenteen routaolosuhteet (TIEL, Teiden suunnittelu, 1985).



Kuva 6: a) kerran 2 vuodessa toistuva pakkasmäärä (Kh)
 b) kerran 5 vuodessa toistuva pakkasmäärä (Kh)
 c) kerran 10 vuodessa toistuva pakkasmäärä (Kh)
 d) kerran 20 vuodessa toistuva pakkasmäärä (Kh)
 (Talonrakennuksen routasuojausohjeet 1987).



Kuva 7: Pakkasmäärän ja lumikerroksen paksuuden vaikutus roudan syvyyteen (Soveri, Varjo 1977).

4 LUONNONMOREENIN KÄYTTÖ TIERAKENTEISSA

Tämänhetkissä TIEL:n suunnitteluohjeissa annetaan käyttöohjeet luonnonmoreenille ainoastaan penkereessä. Ohjeiden mukaan soramoreenit soveltuvat penkereeseen hyvin. Riippuen pohjamaan rakeisuudesta voidaan joutua penkereen alla käyttämään suodatinkerrosta tai kangasta.

Hiekkamoreenit kelpaavat penkereeseen, mutta vesipitoisuus vaikeuttaa tiivistämistä, kun hienoainesta ($< 0,074$ mm) on paljon (> 35 %).

Silttimoreenia voidaan käyttää penkereeseen vain kuivissa olosuhteissa. Käyttökelpoisuutta voidaan parantaa tekemällä silttikerrosten väliin hiekkakerroksia, jotka edistävät kuivatusta. Hiekkaa tarvitaan 0,3 m jokaista 0,7 - 1,4 m paksuista silttikerrosta kohti. Luiskat on suojattava eroosiolta.

Penkereeseen käytettävä materiaali saa sisältää kiviä ja lohkareita, mikäli ne eivät haittaa tiivistämistä. Penkereen yläosassa tulisi käyttää mahdollisimman tasalaatuista maata.

Jäätynyttä maata voidaan käyttää penkereeseen vain silloin, kun pengeri ehtii sulaa ja se ehditään tiivistää kunnolla ennen päällystämistä. Runsaasti hienoainesta sisältävän moreenin ollessa kyseessä, jäätynyt maa ei saa sisältää paljon vettä, jottei synny stabiliteettiongelmia maan sulaessa.

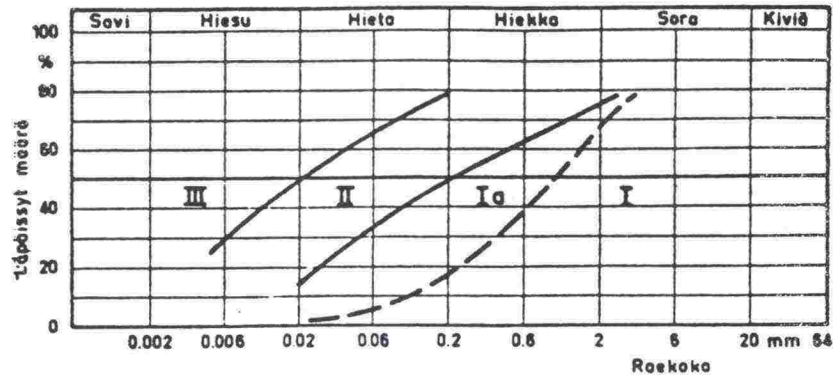
Yksittäiset jäätyneet maalohkareet voidaan puskea luiskatäytteeksi. Luiskatäytteeseen voidaan sijoittaa myös raivausmassoja, ellei tietä myöhemmin levennetä.

Jos luonnonmoreenia käytetään tierakenteessa muualla kuin penkereessä, tulee rakenteen täyttää seuraavat ehdot:

- pintavesien imeytyminen tierakenteeseen estetään riittävän tiiviillä pinnalla ja pinnan kallistuksella
- veden imeytymistä luiskien kautta tierakenteeseen estetään esim. heikosti vettäläpäisevällä luiskatäytöllä tai luiskan sisään asennetulla muovikalvolla
- maapohjan kautta tulevan veden pääsy moreenikerrokseen estetään riittävän vahvalla kapillaarikerroksella tai muovikalvolla
- moreenin kuivumisen varmistamiseksi moreenin alle rakennetaan salaojakerros.

Jos luonnonmoreenia käytetään suoraan tierakenteessa, vaatii se huolellista suunnittelua ja rakentamisen aikana tarkkaa valvontaa, jotta rakenteesta tulee suunnitellun kaltainen.

Vanhemman TIEL:n ohjeen (TVH 1970) mukaan moreeneiden soveltuvuutta pengermateriaaliksi voidaan arvioida kuvan 8 ohjealueiden avulla. Alueen I pengertamis- ja tiivistämistöissä ei yleensä esiinny vaikeuksia. Kyseisen alueen moreenit kelpaavat pengermateriaalina pehmeikköjen pohjaantäyttöihin sekä vesistöpenkereisiin.



Kuva 8. Moreenit pengermateriaalina (TVH 1970).

Jos ohjealuetta Ia edustavien hiekka- ja soramoreenien hienoainespitoisuus on suuri, voi optimivesipitoisuuden ylittäminen aiheuttaa vaikeuksia rakennustöissä. Näistä moreeneista ainoastaan karkeimmat kelpaavat pengermateriaalina pehmeikköjen pohjaantäyttöihin sekä vesistöpenkereisiin.

Ryhmiin II ja III moreeneissa pienikin ($\geq 2\%$) optimivesipitoisuuden ylitys aiheuttaa ongelmia rakennustöissä. Maalajin käyttö pengermateriaalina estyy täysin, mikäli vettä on ylimäärin ts. yli juoksurajan. Joissakin tapauksissa näiden maalajien käsiteltävyyttä voidaan parantaa stabiloimalla moreenit kalkilla.

5 JALOSTETTUIJEN MOREENIEN KÄYTTÖ TIERAKENTEISSA

5.1 Yleistä

Moreenien laaja-alaisen käytön ongelmana on lähinnä moreenin sisältämä hienoaines ja siitä aiheutuva routiminen ja heikko kantavuus märkänä. Lisäksi moreenin käyttöä rajoittaa moreenimuodostumien pienipiirteisyys, mikä vaatii paljon ennakotyötä ja suunnittelua.

Eri jalostusmenetelmillä voidaan moreenin käyttöön liittyviä ongelmia vähentää ja näin lisätä moreenin käyttöä. Moreeneja voidaan jalostaa joko mekaanisesti tai stabiloimalla.

5.2 Mekaanisesti jalostetut moreenit

Mekaanisesti moreeneja voidaan jalostaa seuraavilla eri menetelmillä:

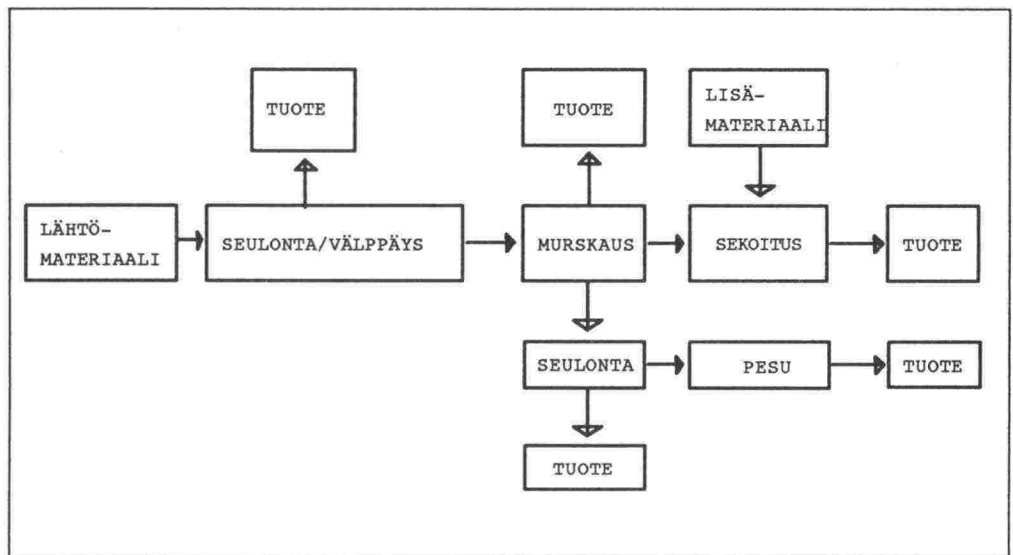
- murskaus
- erottelu
- * välppäys
- * seulonta
- * pesu
- sekoitus

Usein eri erottelumenetelmiä yhdistetään toisiinsa.

Mekaanisessa jalostuksessa moreenin raejakauma saadaan paremmin vastaamaan käyttöolosuhteiden vaatimaa raekokojakaumaa. Jalostuksella voidaan poistaa kokonaan tai osittain jalostamattoman moreenin käytössä mahdollisesti esiintyviä haittatekijöitä kuten routivuutta, heikkoa kantavuutta märkänä ja huonoa käsiteltävyyttä märkänä. Moreenin mekaaninen jalostaminen on käytännön tilanteissa varteen otettava vaihtoehto suunniteltaessa tiemateriaalin hankintaa. Kuva 9 on kaavio mekaanisen jalostuksen menetelmistä ja jalostusprosessista.

Murskattaessa moreeneja niiden routimisherkyys vähenee. Jos kuitenkin moreeni sisältää runsaasti hienoainesta, se on edelleen routivaa murskauksesta huolimatta.

Korkeampiluokkaisille teille moreeni murskataan kahdessa vaiheessa. Moreenimurske soveltuu käytettäväksi jakavassa ja kantavassa kerroksessa sekä soratien kulutuskerroksessa. Moreenimurskeen käyttökohteeksi soveltuvat erittäin hyvin kuivarunkoiset ja suhteellisen hyvän kantavuuden omaavat soratiet.

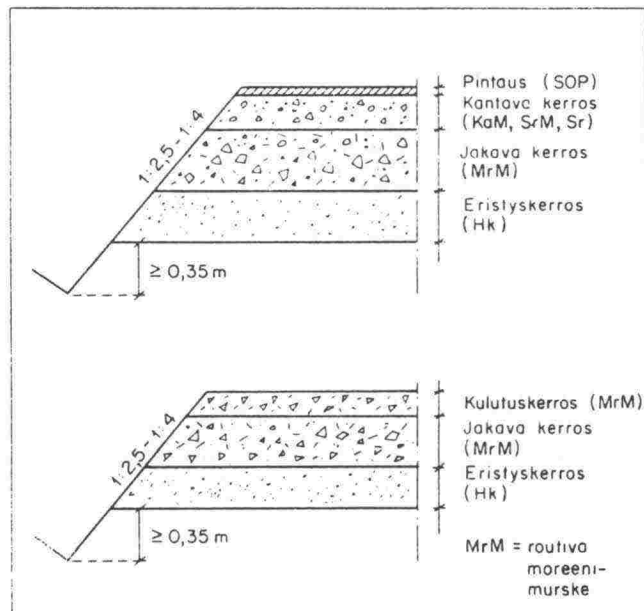


Kuva 9: Kaaviokuva mekaanisesta jalostuksesta.

Tielaitoksen ohjeissa (teiden suunnittelu B-kansio, 16.9.1985) annetaan seuraavan sivun mukaiset ohjeet moreenimurskeen käytölle - laatikoitu teksti (kuva 11 kuuluu myös ohjeisiin).

Moreenimurskerakenteessa osa sitomattomista kerroksista tehdään routi-
vasta murskeesta tai soramoreenista.

Moreenimurskeen edullisin käyttöalue on soratien kulutus- ja sideker-
roksessa. Lisäksi sopivaa moreenia voidaan käyttää sorateiden tai
pintauksella päällystettyjen teiden jakavassa kerroksessa.

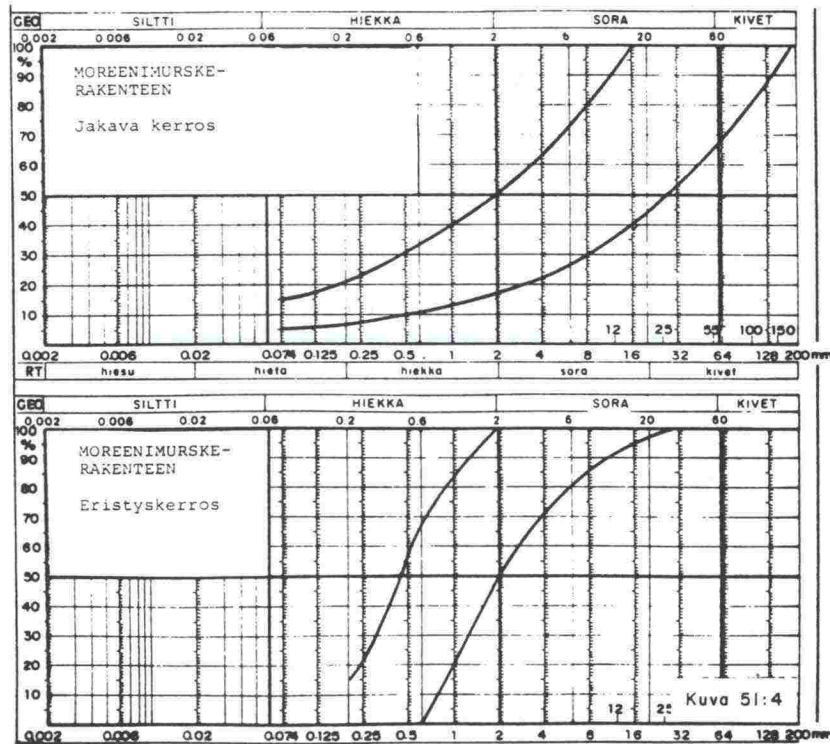


Kuva 10: Moreenimurskerakenne (Teiden suunnittelu, B-kansio 1985).

Päällystetyillä teillä moreenimurskeen käytön ehtona on tehokas kuiva-
tus. Veden imeytyminen alusrakenteesta estetään eristyskerroksella,
jonka paksuus on vähintään 1,25 kertaa eristyskerrosmateriaalin kapil-
laarinen nousukorkeus. Veden tulo sivulta estetään sivuojilla, jotka ulot-
tuvat 0,35 m eristyskerroksen alapuolelle. Sadeveden pysäyttää päällyste.

Sorateilla eristyskerroksen paksuus on määritetty paikoissa 0,5 - 1,0 ja
kuivissa paikoissa 0 - 0,5 kertaa eristyskerrosmateriaalin kapillaarinen nousukor-
keus. Eristyskerroksen ohentaminen pienentää moreenin kestävästä E-mo-
dulia, mutta hidastaa sorakulutuskerroksen kuivumista ja purkautumista.

Moreenimurskeen ja eristyskerroksen rakeisuusvaatimukset on esitetty
kuvassa 11.



Kuva 11: Moreenimurskeesta tehdyn jäkävän kerroksen ja eristyskerroksen rakeisuusvaatimus (Teiden suunnittelu, B-kansio 1985).

Tavoitekantavuus rajoittuu kuivarunkoisillakin sorateillä 150 MPa, johtuen moreenimurskeen herkkyydestä veden vaikutukselle. Jos moreenirakenne sijoitetaan routivalle alusrakenteelle, on tavoitekantavuuden ylärajana 100 MPa (Eerola 1984).

Ennen moreenimurskeen käyttöä kosteana pysyvät ja heikon kantavuuden omaavat soratiet on kuivatettava ja kantavuutta parannettava. Kuivatusta voidaan parantaa syventämällä ja aukaisemalla tieojat. Kantavuutta voidaan parantaa lisäämällä 0 - 35 mm:n moreenimursketta päällysrakenteeseen 5 - 10 cm.

Jos murskattua moreenia käytetään sitomattomana kantavassa kerroksessa, tulee hienoaainespitoisuuden olla alle 5 - 6 %. Moreenimurskeen käyttö muihin rakennuskohteisiin, jotka edellyttävät routimatonta materiaalia, ei periaatteessa ole sallittua ilman erikoistoimenpiteitä (Eerola 1984).

Jos hienoaainesta on alle 9 % ja yli 2 mm ainesta yli 65 %, voi moreeni olla erään kokeen mukaan riittävän kestävää käytettäväksi kantavassa kerroksessa. Määrittäminen perustuu pakkaskokeen jälkeen todettuun yli 80 CBR-arvoon. Kuormitetuilla näytteillä saatiin vielä lupaavampia tuloksia (Eerola 1984).

Kokonaan uuden kantavan kerroksen rakentaminen 0 - 65 mm:n moreenimurskeesta edellyttää suodatinkerroksen tekoa estämään kapillaarisen

veden nousun moreenikerrokseen. Kuivilla routimattomilla pohjamailla ja jopa kuivilla moreenikankailla ei eristävää kerrosta kuitenkaan tarvita.

Moreenin kantavuus riippuu suuresti sen vesipitoisuudesta. Moreenimurskeen kimmomoduulin on todettu pienenevän noin puoleen (53 %) vesipitoisuuden kasvaessa 4 %:sta 9 %:iin (Koski/1986). Kimmomoduuli pieneni eniten materiaalin keskimääräisen raekoon pienentyessä ja hienoainesmäärän sekä kapillaarisuuden kasvaessa.

Moreenimurskeesta tehtyjen koerakenteiden kantavuusmittauksissa (Koski 1986) on todettu suodatinkerroksellisten rakenteiden kevätkantavuuskertoimien olleen noin 36 % suurempia kuin rakenteiden, joissa ei ollut suodatin-kerrosta. Kevät- ja kesäkantavuudet olivat lähellä toisiaan suodatinkerroksella varustetuissa rakenteissa. Kuivissa olosuhteissa moreenilla voi olla jopa parempi kantavuus kuin esim. soralla ja kalliomurskeella.

Jotta moreenimurskeen hyvää kantavuutta kuivissa olosuhteissa voitaisiin käyttää hyväksi, tulisi ottaa huomioon seuraavia asioita:

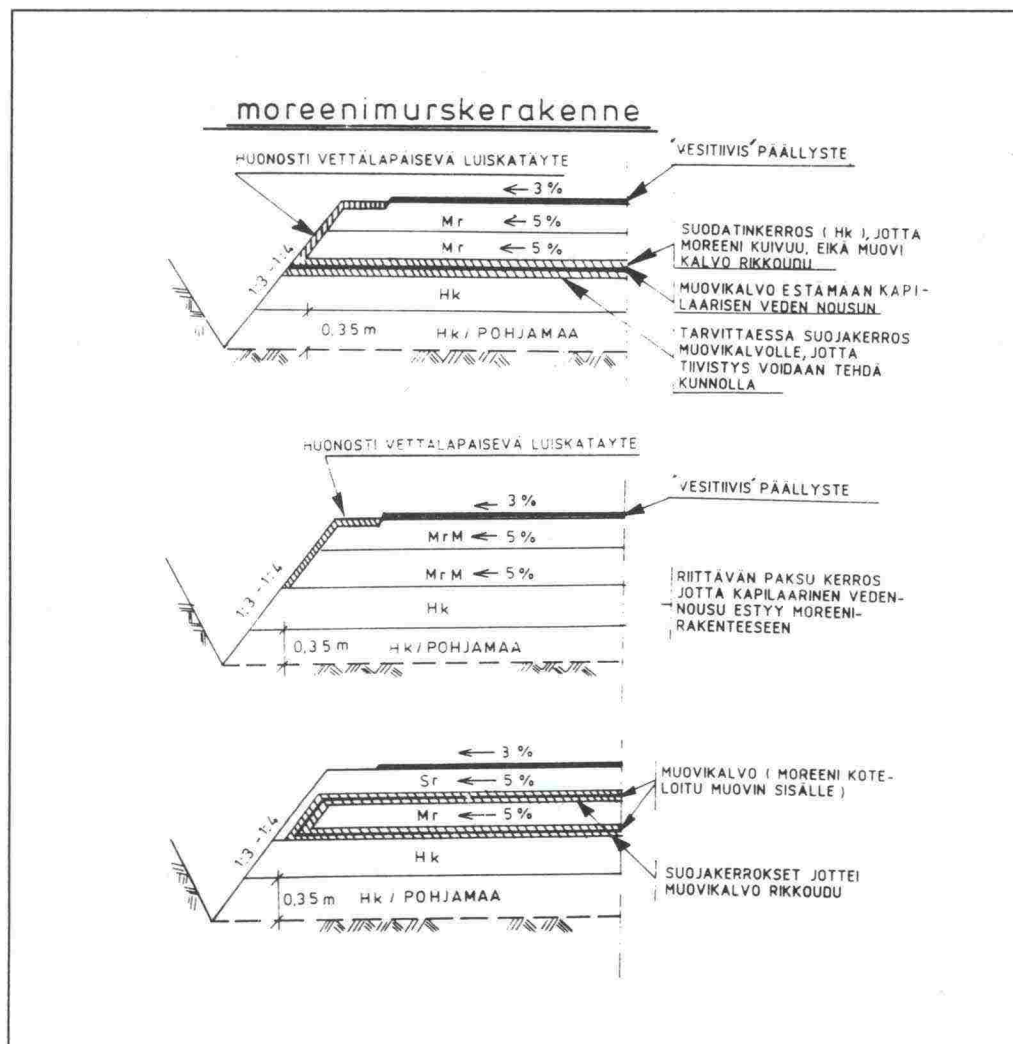
- moreenimurskekerroksien rakentaminen tulisi tapahtua mahdollisimman kuivissa olosuhteissa
- ylimääräisen veden pääsy valmiiseen rakenteeseen tulisi estää
 - * ylhäältä päin tiiviillä, tasaisella ja oikein kallistetulla tien pinnalla
 - * alhaalta päin kapillaarisen nousun katkaisevalla kerroksella (esim. paksu hiekka- tai sorakerros tai muovikalvo)
 - * sivulta päin vettä heikosti läpäisevällä luiskaverhouksella tai luiskan sisälle asennetulla muovikalvolla
- ylimääräisen veden poispääsy tulisi varmistaa riittävän syvällä ojituksella tierakenteen molemmiin puolin.

Käytettäessä muovikalvoa kosteuden eristämiseen moreenin alla tulisi muovikalvo asettaa kahden suojakerroksen väliin. Näin tehtäessä moreenin tiivistys voidaan tehdä kunnolla tarvitsematta pelätä muovikalvon rikkoutumista. Muovin alapuolella oleva suojakerros tulee olla routimattomasta materiaalista. Muovin päällä olevan suojakerroksen vedenläpäisevyys tulisi taas olla mahdollisimman suuri. Tällöin suojakerroksen päällä olevan moreenikerroksen mahdollinen kosteus poistuisi paremmin.

Kirjallisuusselvityksen perusteella voitaisiin kokeilla kuvan 12 mukaisia rakenteita.

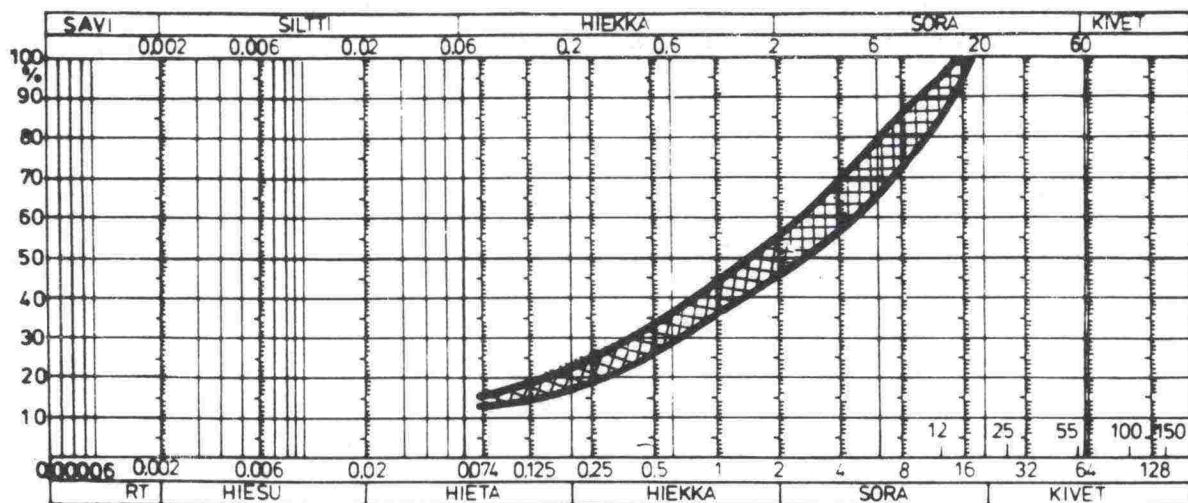
Ruotsalaisessa tutkimuksessa (Christer Johansson: Utläggning av förstärkningslager av krossad morän) parhaaksi murskatun moreenin levittämisenetelmäksi havaittiin kipata lasti noin 5 m päähän rakenteilla olevan tien päästä ja levittää kasa puskutraktorilla. Lopputuloksena saatiin oikealla korkeudella oleva tasainen pinta eikä minkäänlaista lajittumista voitu havaita pintaa rakennettaessa. Muita menetelmiä oli kipata lasti lastin vie-reen ja levittää se oikealle korkeudelle puskutraktorilla tai kaivinkoneella.

Kokeiltiin myös kaataa lasti valmiille pinnalle, minkä jälkeen kaivinkone levitti kasan ollen kasan takana. Tämä oli erittäin aikaa vievää. Näin ollen muutettiin kaivinkoneen työskentelytapaa niin, että se veti massan paikalleen.



Kuva 12: Periaatekuvia mahdollisista moreenirakenteista.

Soratien kulutuskerrostutkimuksessa (Saarela) kulutuskerrokseen parhaiten sopivan murskatun materiaalin rakeisuusalue on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13: Soratien kulutuskerrostutkimuksessa parhaiten menestyneiden materiaalien rakeisuusalue (Saarela 1978).

Kulutuskerroksen kestävyys vaikuttaa ratkaisevasti murskeessa oleva hienoainemäärä. Soratien kulutuskerrostutkimuksessa havaittiin, että parhailla materiaaleilla oli hienoainesta yli 13 %. Kuitenkin näyttää siltä, että materiaalin stabiliteetti heikentyy, jos hienoainesta on yli 15 %. Moreenimurskeen on havaittu olevan kiinteämpi, pysyvämpi ja kestävämpi soratienkulutuskerroksena kuin savisora (Eerola 1984).

Kiviaineksen maksimiraekoko ei ratkaisevasti vaikuta kulutuskerroksen laatuun, jos kulutuskerros rakennetaan riittävän paksuksi. Käytännössä tuskin kannattaa rakentaa yli $2,5 \cdot d_{\max}$ paksuja kerroksia, koska varsinkin hienorakeisimmista materiaaleista tehdyn kulutuskerroksen stabiilisuus saattaisi heiketä (Saarela 1978).

5.3 Stabiloidut moreenit

Moreenien mahdollisia stabilointimenetelmiä ovat:

- sementtistabilointi
- bitumistabilointi
- kalkkistabilointi.

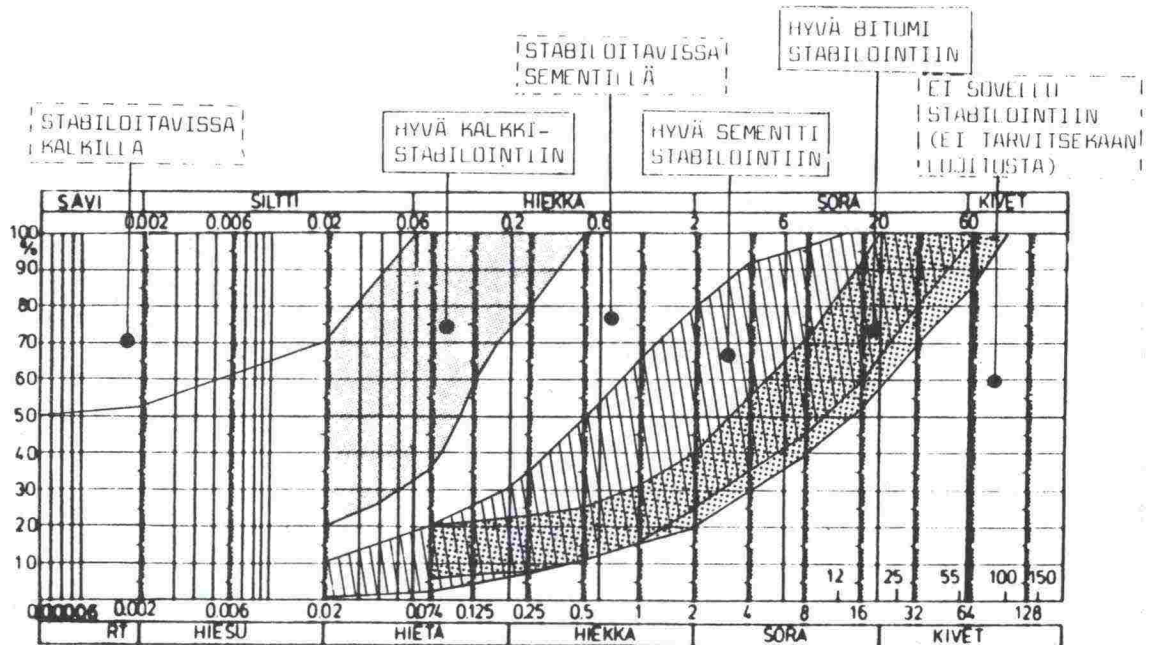
Stabiloinnilla lisätään moreenin kantavuutta ja vähennetään routimista.

Stabiloitujen kerrosten paksuudeksi suositellaan 150 - 300 mm. Jos pyritään vain parantamaan moreenin ominaisuuksia, riittävä sideainemäärä on sementillä ja kalkilla 2 - 3 % sekä bitumilla alle 2 %. Puristuslujuutta lisätessä tarvittava sideainepitoisuus on sementillä 4 - 7 % ja bitumilla 3 - 5 % sekä kalkilla 4 - 12 %.

Sementti- ja bitumistabiloidut moreenit soveltuvat hyvin jakavaksi ja kantavaksi kerrokseksi.

Kalkkistabiloidut moreenit soveltuvat jakavaksi tai kantavaksi kerrokseksi vähäliikenteisillä teillä. Alusrakenteeksi kalkkistabiloitu kerros soveltuu hyvin myös korkealuokkaisilla teillä.

Kuvassa 14 on esitetty rakeisuusohjealueet eri sideaineita käytettäessä.



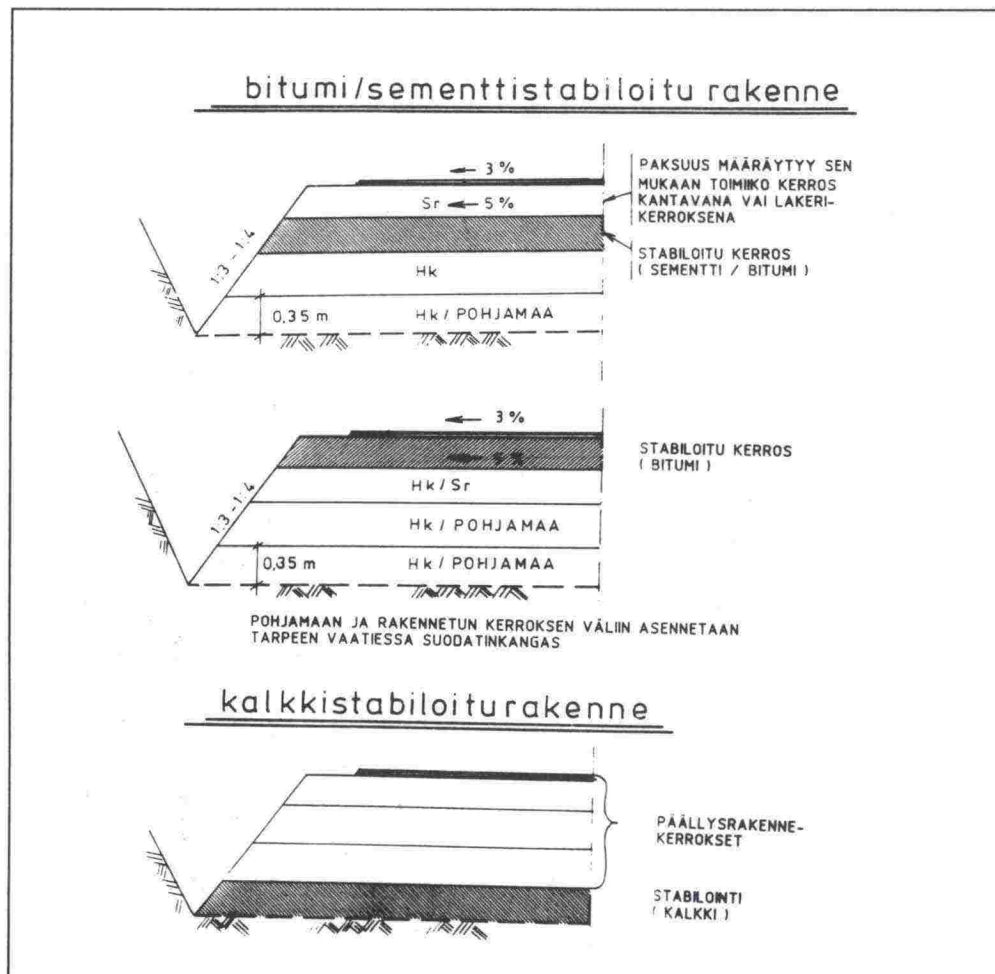
Kuva 14: Stabilointikiviainesten ohjealueet.

Jos stabiloitavaksi tarkoitettu moreeni ei aivan sovi ko. stabiloinnin hyvään alueeseen, voidaan rakeisuutta yrittää muuttaa mekaanisen jalostuksen keinoilla. Kysymykseen tulee ensisijaisesti sekoitus. Jossakin tapauksessa myös murskaus voi olla varteenotettava vaihtoehto.

Jos halutaan käyttää sementtistabiloitua kerrosta väliaikaisena kulutuskerroksena, on sementtipitoisuuden oltava kerroksen pölyämisherkyyden vuoksi suurempi kuin pelkällä puristuslujuuteen perustuvalla mitoituksella saadaan.

Bitumistabiloitu kerros soveltuu vain työnaikaiseksi kulutuskerrokseksi, koska liikenne kuluttaa sitä voimakkaasti.

Kuvassa 15 on esitetty periaatekuvia stabiloiduista rakenteista.



Kuva 15: Periaatekuvia stabiloiduista rakenteista.

5.4 Käyttökokemukset

Tämän selvityksen yhteydessä tehdyn kyselyn perusteella ovat moreenin käyttökokemukset tiepiireittäin seuraavanlaisia:

01 Uudenmaan piiri

Ei vastausta moreenin käyttöä koskevaan kyselyyn. Moreenia on kuitenkin käytetty ainakin koteloidussa rakenteessa (Mäntsälä).

02 Turun piiri

Moreenia käytetty vain penkereessä - kokemukset hyviä.

03 Hämeen piiri

Moreenimurskeesta tehtyä maabetonia käytetty kantavassa kerroksessa (tehty 1990) - ei vielä saatu käyttökokemuksia.

Moreenimurskeesta tehtyä sementtistabiloitua kerrosta käytetty jakavassa kerroksessa (tehty 1990), kerroksen pakkasen kestävyys ja routastabiilisuus vielä epäselvä.

Moreenimurskeesta tehtyä maabetonia käytetty väliaikaisena kulutuskerroksena - kokemukset eivät kovin hyviä (pölyäminen).

04 Kymen piiri

Ei vastausta moreenin käyttöä koskevaan kyselyyn.

Ilmeisesti ei ole käytetty moreenia.

05 Mikkelin piiri

Moreenimurskeesta tehtyä maabetonia käytetty kantavassa kerroksessa (tehty 1979) - kokemukset hyviä.

Moreenimursketta käytetty sora-tien kulutuskerroksessa - käyttökokemukset hyviä.

06 Pohjois-Karjalan piiri

Luonnonmoreenia käytetty penkereessä.

Moreenimursketta käytetty sora-tien kulutuskerroksessa - käyttökokemukset hyviä.

07 Kuopion piiri

Ei vastausta moreenin käyttöä koskevaan kyselyyn.

08 Keski-Suomen piiri

Moreenimurskeesta tehtyä maabetonia käytetty kantavassa kerroksessa (1972) - kokemukset hyviä.

Kalkkistabilointi (1972) - kokemukset hyviä.

Moreenimursketta käytetty sora-tien kulutuskerroksessa - kokemukset hyviä.

09 Vaasan piiri

Moreenin käyttökokemusta vain sora-tien kulutuskerroksen tekemisestä moreenimurskeesta - kokemukset hyviä.

10 Keski-Pohjanmaan piiri

Useita sementtistabilointeja käyttäen luonnonmoreenia ja moreenimursketta - käyttökokemukset hyviä.

Käyttö massanvaihdon täytteenä - tähänastiset kokemukset myönteisiä.

Moreenia käytetty tien alla olevan pohjamaan liukumista estävän tukimuurin tekemiseen (tehty 1989) - tähänastiset kokemukset myönteisiä.

Eristyskerroksen korvaaminen routivalla soramoreenilla (hienoainespit. 14 - 25 %) (tehty 1986)- kohde säilynyt hyvin.

Soramoreenipohjamaan stabiloiminen masuunikuonalla (tehty 1989) - tähänastiset kokemukset myönteisiä.

Hiekkamoreenin (hienoainespit. 20 - 30 %) käyttö massanvaihdon täytteenä - kestänyt hyvin.

11 Oulun piiri

Moreenimursketta käytetty kantavassa kerroksessa (tehty 1982) - käyttökokemukset myönteisiä.

Moreenimursketta käytetty jakavassa kerroksessa (tehty 1982) - vähäisiä kantavuusongelmia.

Käytetty rakennetta, jossa on moreenimurskeesta tehty jakava kerros ja kantava maabetonikerros (tehty 1982 ja 1983) kokemukset myönteisiä.

Hiekkamoreeni pohjamaan sementtistabiloimiseen, jotta pohjamaa saataisiin routimattomaksi.

12 Kainuun piiri

Moreenimurskeesta tehtyä maabetonia käytetty kantavassa kerroksessa - kokemukset hyviä.

Moreenimursketta käytetty soratien kulutuskerroksessa - kokemukset hyviä.

13 Lapin piiri

Ei vastausta moreenin käyttöä koskevaan kyselyyn.

Muita Suomessa saatuja kokemuksia:

Kuopion kaupunki

Käytetty muovikoteloitua rakennetta massanvaihdossa, jossa täyttömateriaalina käytettiin routivaa hiekkamoreenia - ei routimishaittoja.

Edellä esitettyjen käyttökokemusten perusteella moreenimurske soveltuu erittäin hyvin soratien kulutuskerrokseksi. Stabiloimattoman moreenimurskeen käytöstä tien rakennekerroksissa ovat kokemukset hyvin vähäisiä. Sitä vastoin sementtistabiloidun moreenimurskeen käytössä saadut kokemukset ovat olleet myönteisiä. Stabiloitua moreenimursketta on käytetty Hämeen, Mikkelin, Keski-Suomen, Keski-Pohjanmaan, Oulun ja Kainuun piireissä.

5.5 Moreenimurskeiden hankintamäärät

Tiepiirien murskeiden hankintamäärät ovat olleet vuosina 1985 - 1988 taulukkojen 14 A ja 14 B mukaisia.

Taulukko 14A: Murskeiden hankintamäärät v. 1985 - 1988 (ei sisällä oman työn osuutta).

Piiri	Raaka-aine	Urakkatyypit yht. [1000 m ³ itd]			
		1985	1986	1987	1988
Uusimaa	Ka	592,6	734,4	1 208,4	530,7
Uusimaa	Sr	306,9	84,0	470,7	406,9
Uusimaa	Yht.	899,5	818,4	1 679,1	937,6
Turku	Ka	847,6	806,1	2 003,0	1 025,6
Turku	Sr	254,6	824,3	587,4	446,6
Turku	Yht.	1 102,2	1 630,4	1 590,4	1 472,2
Häme	Ka	446,7	982,6	233,8	1 058,5
Häme	Sr	911,0	826,7	860,5	600,7
Häme	Yht.	1 357,7	1 809,3	1 094,3	1 659,2
Kymi	Ka	181,6	68,7	209,2	237,3
Kymi	Sr	180,9	530,8	171,1	131,1
Kymi	Yht.	362,5	599,5	380,3	368,4
Mikkeli	Ka	12,8	87,8	63,4	107,7
Mikkeli	Sr	293,0	161,2	295,1	420,4
Mikkeli	Yht.	405,8	249,0	358,5	528,1
Pohjois-Karjala	Ka	20,0	10,9	1,6	3,1
Pohjois-Karjala	Sr	836,8	814,5	1 112,7	737,1
Pohjois-Karjala	Yht.	856,8	825,4	1 114,3	740,2
Kuopio	Ka	115,1	145,4	395,4	90,1
Kuopio	Sr	71,1	512,7	333,2	237,8
Kuopio	Asf.rouhe	-	-	-	13,1
Kuopio	Yht.	186,2	658,1	728,6	341,0
Keski-Suomi	Ka	205,2	380,0	237,0	603,8
Keski-Suomi	Sr	219,7	255,0	300,4	161,0
Keski-Suomi	Mr	23,1	12,8	20,0	70,3
Keski-Suomi	Yht.	448,0	647,8	557,4	835,1
Vaasa	Ka	828,9	550,8	1 468,3	1 036,5
Vaasa	Sr	242,8	312,3	146,8	51,8
Vaasa	Mr	-	-	-	19,9
Vaasa	Yht.	1 071,7	863,1	1 615,1	1 108,2

Taulukko 14B: Murskeiden hankintamäärät v. 1985 - 1988 (ei sisällä oman työn osuutta).

Piiri	Raaka-aine	Urakkatyypit yht. [1000 m ³ itd]			
		1 985	1 986	1 987	1 988
Keski-Pohjanmaa	Ka	152,5	237,7	336,1	247,4
Keski-Pohjanmaa	Sr	115,3	188,8	111,1	193,3
Keski-Pohjanmaa	Mr	-	20,4	9,7	-
Keski-Pohjanmaa	Kuona	33,9	28,6	-	-
Keski-Pohjanmaa	Yht.	301,7	465,5	456,9	440,7
Oulu	Ka	90,3	208,0	67,2	417,8
Oulu	Sr	470,1	573,4	333,1	793,9
Oulu	Kuona	2,0	3,8	26,5	-
Oulu	Asf. rouhe	-	-	-	2,1
Oulu	Yht.	562,4	785,2	426,8	1 213,8
Kainuu	Ka	84,4	227,8	156,1	86,9
Kainuu	Sr	668,6	403,3	691,6	552,1
Kainuu	Mr	-	43,1	-	-
Kainuu	Yht.	753,0	674,2	847,7	639,0
Lappi	Ka	-	-	-	66,8
Lappi	Sr	858,5	1 130,4	1 085,2	694,1
Lappi	Yht.	858,5	1 130,4	1 085,2	760,9
Koko maa	Ka	3 577,7	4 440,2	5 379,5	5 512,2
Koko maa	Sr	5 529,0	6 617,4	6 498,9	5 426,8
Koko maa	Mr	23,1	76,3	29,7	90,2
Koko maa	Kuona	35,9	22,4	26,5	-
Koko maa	Asf.rouhe	-	-	-	15,2
Koko maa	Yht.	9 165,7	11 156,3	11 934,6	11 044,4

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Moreeni on maalaji, joka on syntynyt jääkauden aikana jäätikön kuluttamasta, kuljettamasta ja kerrostamasta aineksesta. Jäätikön liikkeitten ja sulamisen vaikutuksesta kivennäisaines on kerrostunut erilaisiksi moreenimuodostumiksi. Tällaisia muodostumia ovat pohjamoreenit, drumliinit, Rogen-moreenit, reunamoreenit ja kumpumoreenit. Tienpitotarkoituksiin soveltuvimmat muodostumatyypit ovat Rogen-moreenit ja kumpumoreenit sekä eräissä tapauksissa reunamoreenit.

Yhtenäistä hyödyntämiskelpoisten moreenialueiden kartoitusta ja moreenimäärien inventointia ei Suomessa ole tehty.

Moreenikartoituksen laajuus ja tarkkuus vaihtelee tiepiireittäin. Osassa tiepiireistä on tehty melko systemaattista kartoitusta, osassa ei. Etelä-Suomen alueelta on saatavissa maaperäkartta 1:20 000, mikä soveltuu hyvin materiaalihankinnan suunnittelun pohjaksi. Suunniteltaessa moreenin käyttöä on kuitenkin aina tehtävä moreeniesiintymien hankekohtainen inventointi.

Moreenien maanrakennustekniset ominaisuudet, kuten käsiteltävyys ja kantavuus, riippuvat oleellisesti moreenien hienoainespitoisuudesta. Runsaasti hienoainesta (yli 20 %) sisältävät moreenit häiriintyvät helposti, kun aineksen vesipitoisuus nousee 1 - 2 %-yksikköä yli optimivesipitoisuuden. Aineksen häiriintyessä se voi menettää lujutensa ja kantavuutensa lähes kokonaan.

Hienoainespitoisuus vaikuttaa ratkaisevasti myös moreenin routimisherkyyteen. Yleisesti voidaan sanoa, että mitä enemmän moreeni sisältää hienoainesta, sitä voimakkaammin se routii routimiselle suotuisissa olosuhteissa.

Tämänhetkissä TIEL:n suunnitteluohjeissa annetaan käyttöohjeet luonnonmoreenille ainoastaan penkereessä. Ohjeiden mukaan soramoreenit soveltuvat penkereeseen hyvin. Riippuen pohjamaan rakeisuudesta voidaan joutua penkereen alla käyttämään suodatinkerrosta tai -kangasta.

Hiekkamoreenit kelpaavat penkereeseen, mutta vesipitoisuus vaikeuttaa tiivistämistä, kun hienoainesta ($< 0,074$ mm) on paljon (> 35 %). Silttimoreenia voidaan käyttää penkereeseen vain kuivissa olosuhteissa. Käyttökelpoisuutta voidaan parantaa tekemällä silttikerrosten väliin hiekkakerroksia, jotka edistävät kuivatusta. Hiekkaa tarvitaan 0,3 m jokaista 0,7 - 1,4 m paksuista silttikerrosta kohti. Luiskat on suojattava eroosiolta.

Jos luonnonmoreenia käytetään tierakenteessa muualla kuin penkereessä, tulee veden pääsy moreenikerrokseen olla estetty rakenteellisesti, ts. käytetään erikoisrakenteita.

Usein moreenien käyttöä rajoittavat niiden routivuus ja heikko kantavuus märkänä. Sekä routivuus että kantavuus riippuvat oleellisesti moreenin hienoainespitoisuudesta. Mitä suurempi hienoainespitoisuus on, sitä heikommin moreeni yleensä soveltuu tienrakennukseen.

Tienrakennusta silmälläpitäen moreenin ominaisuuksia voidaan selvästi parantaa vähentämällä hienoainespitoisuutta mekaanisesti tai kemiallisesti

(stabilointi). Hienoainespitoisuutta vähentämällä voidaan routivasta moreenista tehdä routimatonta ja samalla lisätä moreenin kantavuutta sekä sen pysyvyyttä myös märkänä.

Mekaanisessa jalostuksessa pyritään saamaan moreenille haluttu raekokojakauma. Mekaanisissa menetelmissä raejakaumaan ja hienoaineksen prosentuaaliseen määrään voidaan vaikuttaa murskauksella, erottelulla ja sekoituksella. Moreenin jalostuksessa erottelu voidaan toteuttaa välppäyksellä, seulonnalla tai pesulla. Usein eri erotusmenetelmiä yhdistetään toisiinsa.

Murskauskelpoisen moreenin tulee olla mahdollisimman kivistä. Yli 64 mm:n suuruisia kiviä ja lohkareita tulisi olla vähintään 25 %. Hienoainesmäärä (raekoko alle 0,074 mm) voi vaihdella 10 - 20 %:n välillä 0 - 65 mm seulontakäyrällä. Mitä runsaskivisempää moreeni on, sitä suurempi voi myös hienoainespitoisuus olla. Murskauksen avulla voidaan lisätä soraaineksen määrää ilman, että hienoaineksen määrä lisääntyy merkittävästi.

Hienoaineksen määrää voidaan vähentää liittämällä murskausprosessiin seulontaa. Hienoaineksen erottaminen kannattaa tehdä ennen varsinaista murskausta. Näin voidaan lisätä murskaamon kokonaistehoa ja vähentää murskainten leukojen kulumista.

Tielaitoksen ohjeiden mukaan murskattua moreenia voidaan käyttää jakavassa ja eristyskerroksessa sekä soratien kulutuskerroksessa. Jos moreenimursketta käytetään kantavassa kerroksessa, tulee kerroksen kuivana pysyminen kaikissa olosuhteissa varmistaa rakenteellisesti.

Välppäyksen, seulonnan ja pesun avulla voidaan lähtökiviaineksesta erottaa joko kivet tai hienoaines pois. Seulonnan avulla saadaan leikattua käsiteltävästä materiaalista hienojen rakeiden alue pois. Tällöin kuitenkin poistuu seulontamenetelmien karkeudesta johtuen myös raekokoja, joita ei tarvitsisi erottaa.

Erottelun vaikutuksesta raekokojakaumaan voidaan yleistäen sanoa, että erotettaessa kiviaineksen karkein materiaali pois, lisätään hienoaineksen suhteellista määrää. Vastaavasti erotettaessa hienoin materiaali pois, lisätään karkean aineksen suhteellista määrää.

Sekoituksella voidaan muuttaa moreenin raejakaumaa. Sekoituksen lähtökohtana on, että sekoituksessa saatavan materiaalin ominaisuudet ovat paremmat kuin kummankaan lähtömateriaalin. Yleensä kahden ainesosan sekoittaminen on riittävä. Käytettäviä sekoitusyhdistelmiä ovat mm. moreeni + sora, moreenimurske + soramurske, moreenimurske + kalliomurske.

Jos on käytettävissä sekoitukseen sopivia materiaaleja, on sekoitus taloudellinen tapa muuttaa materiaalin rakeisuutta.

Stabiloinnilla käsitetään maan ominaisuuksien parantamista kemiallisesti lisäämällä kiviaineksen joukkoon sideainetta. Moreenin stabiloinnissa mahdollisia sideaineita ovat bitumi, sementti ja kalkki. Osasideaineena voidaan käyttää masuunikuonaa.

Moreeneja stabiloitaessa sementti ja bitumi soveltuvat parhaiten karkearaakeisten moreenien (SrMr ja HkMr) stabilointiin, kun taas kalkki soveltuu

runsaasti hienoainesta sisältävien vähäkivisten moreenien stabilointiin (SiMr ja hkSiMr).

Stabiloinnissa sideaine sitoo ja liimaa kiviainesrakeet toisiinsa ja saa aikaan tierakenteen lujittumisen. Kiviaines karkeutuu ja rakeiden ominaispinta-ala pienenee. Eri sideainepitoisuuksilla stabiloinnin vaikutus painottuu joko routivuuden vähentämiseen tai rakenteen kantavuuden lisäämiseen.

Stabiloinnin avulla saatua materiaalia voidaan käyttää kaikissa tien rakennekerroksissa paitsi ei pysyvänä kulutuskerroksena. Käyttö riippuu siitä, mihin stabiloinnilla pyritään.

Sementti- ja bitumistabiloidut moreenit soveltuvat hyvin jakavaksi ja kantavaksi kerrokseksi. Kalkkistabiloidut moreenit taas soveltuvat jakavaksi tai kantavaksi kerrokseksi vähäliikenteisillä teillä. Alusrakenteeksi kalkkistabiloitu kerros soveltuu hyvin myös korkealuokkaisilla teillä.

Kuten jo edellä todettiin, nykyisten ohjeiden mukaan moreenia voidaan käyttää tien eri rakennekerroksissa. Luonnonmoreenia voidaan käyttää penkereessä ja murskattua moreenia tien jakavassa ja eristyskerroksessa sekä soratien kulutuskerroksessa. Stabiloituja moreeneja voidaan käyttää kaikissa tien rakennekerroksissa riippuen siitä, mihin stabiloinnissa on pyritty.

Moreenin tämänhetkisen käytön vähyys johtunee selvien ohjeiden puuttumisesta ja "käyttökelpoisten" moreenimuodostumien kartoituksen vähäisyydestä. Toisin sanoen ei tiedetä, missä käyttökelpoista moreenia on ja miten moreenia voitaisiin hyödyntää.

Periaatteessa tiedetään, miten moreenia voitaisiin käsitellä. Kuitenkin käytännössä törmätään siihen, että ei ole selvää menettelytapaa, miten tietynlaisesta moreenista saadaan tietynlaista lopputuotetta. Ongelmana on määrittää, minkälaista moreenia kannattaa yrittää jalostaa, miten jalostus tulisi tehdä sekä minkälainen tuote saadaan jalostusprosessin avulla. Esimerkiksi seulonnasta tiedetään, että sillä saadaan leikatuksi tiettyä raekokoa pienemmät ainekset pois. Tällainen kiviaines ei kuitenkaan soveltune suoraan mihinkään tierakenteeseen, vaan osa hienoista raekoista tulisi saada takaisin. Tulisiko seulonnan jälkeen sekoittaa osa erotetusta aineksesta takaisin vai pestä erotettu kiviaines? Jalostusprosessin selvittyä herää kysymys, onko se eri käsittelyvaiheiden jälkeen enää taloudellisesti kannattava?

Tutkimus- ja käyttökokemustiedon puute on suurinta mekaanisen jalostuksen ja moreeneille suunniteltujen erikoisrakenteiden puolella.

7 KIRJALLISUUSLUETTELO

Abel, F., Hines, C.R., Base stabilization with foamed asphalt. Raport No: CHOH-SHB-R-79 (FHWA-CO-RD-79-5). Colorado Division of Highways, Denver, Colorado 1979.

Akeroyd, F.M.L and Hicks, B.J., Asphact 88, Highways, January 1988, s. 43 - 45.

Annala, M., Sementillä stabiloitu moreeni jakavan ja eristyskerroksen korvaajana. Tie- ja liikenne 1974:5.

Bergstrand, S., Stigbjörn et al. Betonipäällysteet ja sementtistabilointi, käsikirja (käännös Betong på Mark), Rakennusteollisuus r.y. Suomen Betonteollisuuden keskusjärjestö SBK r.y. 1985.

Bitumilla sidottujen liikennealueiden mitoitusohje, Oulun yliopiston tie- ja liikennetekniikan laboratorio, Neste Oy, 1990.

Bitumistabilointi, raportti, koetiet 1985 - 1988, Pank ry stabilointitoimikunta Helsinki 1983.

Bäcklin, R. Maanrakennus ja kuljetus 3/84.

Chamberlain, E., CRREL Monograph 81-2. Frost susceptibility of soil. Review of index tests. Hanover 1981. s. 121.

Colombier et al. Fissuration de retrain des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques. Bull liaison labo. p. et ch., 156 (1988), p. 37 - 66 et 157 (1988), p. 59 - 87.

Corwin, B., Skumasfalt i Norge. Nordiska vägtekiska förbundets XIV kongress 6.6.1984 i Stockholm. Del II, 1984.

Eerola, M. Moreenin jalostaminen maanrakennustarkoituksiin, Insko, 1984 - 87.

Egmond, W.B., Stabilisierte Schichten, Strasse und Verkehr 1976:12.

Friberg, P. & Slunga, E. Maalajien routivuuskriteerien kehittäminen. Teknillinen korkeakoulu, rakennetekniikan laitos, pohjarakenne ja maamekaniikka. Otaniemi 1989.

Geomekaniikka I, luku 1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto, 1985.

Geomekaniikka II, luku 17.5 (K. Kujala). Maapohjan vahvistaminen lisäaineilla. RIL. Helsinki 1990.

Hartikainen, O-P., Maarakennustekniikka 435, Otakustantamo, 1981 s. 1- 87.

Heikkilä, J., Moreenin jalostus. Teknillinen korkeakoulu, Rakennusinsinööriosasto, Tietekniikka. Espoo 1986. 94 s.

Helenelund, K.V., Moreenimaalajien kantavuusominaisuuksista. VTT, Tiedotussarja III-Rakennus-79. Helsinki 1964. 113 s.

Henk, B., Planung und Ausführung von Bodenverfestigungen mit Zement, Strassenbau-Technik 1972:18.

Hyypä, J., Rakennekerrosten stabilointi, luentomoniste, Helsingin teknillinen korkeakoulu.

Jämsä, H. Pohjamaan kantavuus tierakenteen alla, tiedote 526, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, 1985.

Kankainen, J., Maarakennustyöt, Maa- ja kalliorakenne, RIL 98, Helsinki 1976.

Kauranne, L.K., Gardemeister, R., Korpela, K., Mälkki, E. Rakennusgeologia II, 304. Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta. Otaniemi 1972.

Kezdi, A., Stabilisierte Erdstrassen, Budapest 1973, Verlag für Bauwesen Berlin.

Koski, H. Sitomattoman moreenimurskeen käyttö tien päällysrakenteessa. Tampereen teknillisen korkeakoulun diplomityö. Tampere, 1986.

Laadunvalvontaohjeet. TVH 2.816 1971.

Lee, D.Y., Treating marginal aggregates and soils with foamed asphalt. Asphalt paving technology, Vol. 50, 1981.

Lehtipuu, E., Asfalttipäällysteet, Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki, 1983.

Leinonen, M. Kokemuksia bitumistabiloinnista. Nesteeltä lähetetty aineisto.

Lindgren, P., Tierakenteiden stabilointi sementillä. HTKK Tietekniikka. Otaniemi 1980, 87 s.

Maabetonitöiden työselitys 1984. Tie- ja vesirakennushallitus, tienrakennustoimisto. TVH 731464.

Maarakennusalan tutkimus- ja suunnitteluohjeita, Osa II, Helsinki 1973, TVH 2.660.

Markkanen, P., Maabetoni, sementillä ja kalkilla lujittaminen, Helsinki 1970, Sementtiyhdistys.

Markkanen, P., Sementti ja kalkki savioratiedien tehostetussa kunnossapidossa ja perusparantamisessa, Sementtiyhdistyksen tiedotuksia 1969:2.

Markkanen, P., Sementtistabilointiurakointia Suomessa, Sementtiyhdistyksen tiedotuksia 1973:3.

Meriläinen, J., Sementin ja masuunikuonan käyttö moreenin stabiloinnissa. Helsingin teknillisen korkeakoulun diplomityö. Otaniemi 1986. 76 s.

Mobil Oil Corporation. Kulutusjulkaisu 57807. 19.1.1971.

Moreenimurskeen stabilointikoe. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie- ja liikennelaboratorio. Tutkimusselostus 405, Espoo 1983.

Nevala, E., Tien rakenteen mitoittamisesta sekä maabetonista tien rakenne- materiaalina, Sementti- ja kalkkistabilointikurssi 30 - 31.10.1975, Sementtiyhdistys.

Niemelä, J & Palmu, J-P., Moreeni. Maansiirto 8/1991.

Niskanen, M. Moreenimurskauksista ja moreenimurskeen käytöstä TIEL:n Kainuun piirissä. Menetelmien vaihtopäivät Rovaniemellä 8. - 9.12.1981.

Nousiainen, J. Sementillä stabiloitu moreenimurske tien päällysrakenteessa. Tutkimusraportti maabetonitöistä, Tampereen teknillinen korkeakoulu, rakennusgeologian laitos. Tie- ja vesirakennuslaitos, Hämeen piiri. 1989.

Näpänkangas, P., Moreenin käytöstä sementtistabiloituna tierakenteessa. Oulun yliopiston rakentamistekniikan osasto. Diplomityö. Oulu 1973. 116 s.

Paulman, G., Erläuterungen zur Anmendung der "Technischen Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Bodenverfestigungen und Bodenbesserungen im Strassenbau, Strasse und Autobahn 1975:10.

Pohjarakennus RIL 95, Geotekninen maaluokitus. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto. Helsinki 1974. s. 10 - 27.

Pojjärvi, H., Kiviaineksen hienojakoisimman osan vaikutuksista betonin ominaisuuksiin, VTT julkaisu 110, Helsinki 1966.

Pospisil, F., Kritische Belagsdicke auf zementverfestigten Tragschichten, Strassen und Tiefbau 1973:6.

Pulkki, R., Aitolahti, M., Liikkuva moreenimurskain metsätien rakentamisessa.

Rakennuskoneet. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto r.y., Helsinki, 1972.

Rakentajain kalenteri 1989. Osa 1, Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki 1989.

Ravaska, O. Hepokönkään tekoallas-suunnitelma. Oulun yliopiston rakentamistekniikan osasto. Diplomityö. Oulu 1970.

Rieke, R., Vinson, T., Mageau, D., The Role of Specific Surface Area and Related Index Properties in the Frost Heave Susceptibility of Soils. 4th Int. Conf. of PF. 1983. s. 1066 - 1071

Saarela, A. Soratien kulutuskerrostutkimus II, työtutkimustiedote 20a, tie- ja vesirakennushallitus, rakentamistalouden toimisto, TVH 732742, 1978.

Sloth, S., Förberedda diskussioninlägg röränd stabiliseringsteknik, Användning av cement och kalk i vägbyggnad, III Nordisk Konferenssen 1970, Sementtiyhdistys.

Sommer, H., Ausschreibung, Überwahnung und Abnahme von Bodenstabilisierungen mit Zement, Strassen- und Tiefbau 1969:9.

Sommer, H., Bodenstabilisierung mit Zement und Magerbeton in europäische Strassenbau, Paris 1970, Beton-Verlag GmbH Düsseldorf.

Soveri, J., Varjo, M. Roudan muodostumisesta ja esiintymisestä Suomessa vuosina 1955 - 1975. Vesitutkimuslaitoksen julkaisuja 20. Helsinki, 1977. 66 s.

Stabilointiohjeet, kalkki- ja sementtistabilointi, Helsinki 1972, TVH 2.614.

Susimaa, J., Moreenimaapatojen routaantuminen ja routiminen. Vesihallituksen monistesarja 94. Helsinki 1981. s. 1 - 9, 37 - 39.

Taivainen, O. A. Tutkimuksia moreenin käyttökelpoisuudesta tien kantavassa kerroksessa. Maansiirto 1973:4.

Talonrakennuksen routasuojausohjeet, VTT Geotekniikan laboratorio. Rakentajain Kustannus Oy. Helsinki, 1987.

Teiden suunnittelu. TIEL:n ohjeet, kansio B. Tie- ja vesirakennushallitus, 1985.

Tophinke, G., Verfahren zur Bestimmung des Zementgehaltes bei der Bodenverfestigung mit Zement, Strassenbau-Technik 1972:11.

Weckström, L., Maabetoni asfalttipäällysteen alustana, Asfaltti 1974:16.

Wills, B. A. Mineral Processing Technology Third Edition, Pergamon Press. Oxford et.al, 1985.

Ylinampa, K. & Vesa, H. Bitumistabilointi, käytännön ohjeita, mitoitus, Tielaitos Oulun tuotantotekninen kehitysyksikkö, Tielaitoksen selvityksiä 4/1990, Oulu 1990.

Äijö, J., Vaahtobitumiasfaltin käyttö kantavuuden parantamiseen, Helsingin teknillinen korkeakoulu, diplomityö, 1985.

Örbom, B., Svenska erfarenheter av olika metoder att begränsa prickbidningen vid cementstabilisering, Cement i veg, IV Nordisk Konferensen, Nordisk Vejteknisk Forbund.

MAAPERÄKARTAT - JORDARTSKARTOR - MAPS OF QUATERNARY DEPOSITS

1:20 000 / 1:50 000

TILANNE
01.04.1993
LÄGET
SITUATION

1:50 000

1:20 000

Kartta painettu
Kartan tryckt
Sheet printed

Kartta numeerinen
Karta i numerisk form
The map is available
in numerical form

Kartoitus suoritettu
Kartläggningen utförd
Mapping completed

Kartoitus käynnissä
Kartläggningen pågår
Mapping in progress

Kartoitus tehdään Geologian tutkimus-
keskuksen ja maanmittaushallituksen
välisenä yhteistyönä

Kartläggningen sker i samarbete mel-
lan Geologiska forskningscentralen och
lantmäteristyrelsen

The maps are prepared jointly by the
Geological Survey of Finland and the
National Board of Survey

Geologian tutkimuskeskus
Geologiska forskningscentralen
Geological Survey of Finland

käännä · vänd · p.t.o.

JULKAISTUT MAAPERÄKARTAT 1:20 000 / 1:50 000
PUBLICERADE JORDARTSKARTOR - PUBLISHED MAPS OF QUATERNARY DEPOSITS

x selitykset painettu kääntöpuolelle
 beskrivningar tryckt på kartans baksida
 explanations printed overleaf

n maaperäkattiedot saatavissa myös numeerisina
 jordartskartinformationen tillgänglig också i numerisk form
 the Quaternary deposit data is also available in numerical form

1:20 000 / 1:50 000

x 1012 05 Gottby	x 1333 12 + 2311 03	x 2133 02 Mallinkainen	x 2212 11 Kihniö	x 2441 08 Raahel	x 3134 09 Suuri Jänkäsalo
x 1012 06 Hammarland	x 1334 04 Kaurajärvi	x 2133 03 Jylisjärvi	x 2214 01 Niskos	x 2533 04 Virpiniemi	x 3134 10 Mustola
x 1012 08 Mariehamn	x 1334 04 Maxmo	x 2133 04 Hausjärvi	x 2214 02 Kurjenkylä	x 2533 05 Laitakari	x 3134 11 Kattelusaaari
x 1012 09 Jomala	x 1334 08 Oravala	x 2133 05 Hietoinen	x 2214 03 Tuuraneva	x 2533 06 Satakari	x 3134 12 Pullikainen
x 1012 12 Bomarsund	x 2022 01 Yliskulma	x 2133 06 Poikmetä	x 2214 04 Havangankylä	x 2533 07 Kello	x 3142 01 Otava
x 1021 04 Svartsnara	x 2022 02 Aura	x 2133 07 Lappila	x 2214 05 Vaskuu	x 2533 08 Haukipudas	x 3142 02 Vuolinko
x 1021 07 Saltvik	x 2022 03 Pöytä	x 2133 08 Kärkölä	x 2214 06 Äijäneva	x 2533 09 Ii	x 3142 03 Harjunmaa
x 1021 10 Sund	x 2022 04 Marttila	x 2133 09 Koski Hl	x 2214 07 Vaskivesi	xn 2633 09 Muurola	x 3142 04 Porrasalmi
x 1132 04+01 Rihtniemi	x 2022 05 Seppälä	x 2133 10 Keituri	x 2214 08 Virrat	x 2723 09+06 Muonio	x 3142 05 Mikkeli
x 1132 05+02 Kymä-Pihlava	x 2022 06 Karinen	x 2133 11 Herrala	x 2214 09 Liedenpohja	x 2723 22 Muonio	x 3142 06 Hiirola
x 1132 07 Sampaanala	x 2022 07 Pampari	x 2133 12 Sairakkala	x 2214 10 Visuvesi	xn 2724 1 Paljoensuu	x 3142 07 Haukka-Korhola
x 1132 08 Rauma	x 2022 08 Kouvukylä	x 2134 01 Tuulos	x 2214 11 Siekkiskylä	xn 2734 1 + 2734 2	x 3142 08 Rahula
x 1132 09+06 Olkiluoto	x 2022 09 Rakkio	x 2134 02 Sairala	x 2214 12 Ohtola	x 2741 2 Hormakumpu	x 3142 09 Remojärvi
x 1132 10 Vasara	x 2022 10 Kuusjoki	x 2134 03 Kuohijärvi	x 2222 08 Seinäjoki	x 3023 12 Sirkka	x 3142 10 Antola
x 1132 11 Eurajoki	x 2022 11 Koski TI	x 2134 04 Lammi	x 2231 01 Jäminkipohja	x 3024 01 Kotka	x 3142 11 Sysjärv
x 1132 12 Kuivalahti	x 2022 12 Viluksela	x 2134 05 Iso-Evo	x 2231 02 Ruovesi	x 3024 02 Petjärvi	x 3142 12 Maivala
x 1134 01 Lappi	x 2023 05 Laperla	x 2134 06 Auttoinen	x 2231 03 Tuuhoskylä	x 3024 02 Karvaasa	x 3211 01 Kouhinsalo
x 1134 02 Sydänmaa	x 2023 06 Kiikala	x 2134 07 Etola	x 2231 04 Hyrylä	x 3024 03 Kimonkylä	x 3211 02 Korpihahti
x 1134 03 Irjanne	x 2023 08 Suomensjärvi	x 2134 08 Raitinsaaari	x 2231 05 Väärinmäki	x 3024 04 Ruotsinpyhtää	x 3211 03 Vihtalahti
x 1134 04 Naarjoki	x 2023 09 Johannislund	x 2134 09 Iso-Tarus	x 2231 06 Eläenne	x 3024 05 Rausilla	x 3211 04 Pukilampi
x 1134 05 Kjukainen	x 2023 10 Sammatti	x 2134 10 Hollolan	x 2231 07 Lyly	x 3024 06 Elimäki	x 3211 05 Oittila
x 1134 06 Panella	x 2023 11 Nummi	x 2134 11 Kurhila	x 2231 08 Vilppula	x 3044 01 Hellä	x 3211 06 Ristinselkä
x 1134 07 Kuttua	x 2042 01 Karisjärvi	x 2134 12 Asikkalan kk	x 2231 09 Kotiniemi	x 3044 02 Vaalimaa	x 3211 07 Kiviso
x 1134 08 Eura	x 2042 02 Vuotina	x 2141 01 Saarikylä	x 2231 10 Kavala	x 3044 03 Huurtala	x 3211 08 Rutalahti
x 1134 09 Pehojä	x 2042 03 Räyskälä	x 2141 02 Kangasala	x 2231 11 Lahdenkylä	x 3044 05 Kavalansalmi	x 3211 09 Nisula
x 1134 10 Säkyä	x 2042 04 Karkkila	x 2141 03 Suinla	x 2231 12 Mäntä	x 3044 06+09 Hujakkala	x 3211 10 Leivonmäki
x 1134 11 Köyliönjärvi	x 2042 05 Pilpala	x 2141 04 Pälkäne	xn 2233 01 Kuorevesi	x 3112 01 Paimela	x 3211 11 Etu-Ikola
x 1134 12 Kokemäki	x 2042 06 Topeno	x 2141 05 Sahalahti	xn 2233 02 Kerte	x 3112 02 Asikkala	x 3211 12 Toivakka
x 1141 05 Säppi	x 2042 07 Hiiskula	x 2141 06 Ponsa	xn 2233 03 Ruosinpohja	x 3112 03 Pulkkilanharju	x 3221 04 Vehniä
x 1141 07+04 Pirskeri	x 2042 08 Läyliäinen	x 2141 07 Aito	xn 2233 04 Nytkyme	x 3112 04 Pyhäntä	x 3221 05 Äänekoski
x 1141 08 Lankoori	x 2042 09 Loppi	x 2141 08 Pakkala	xn 2233 05 Hopsu	x 3112 05 Urajärvi	x 3221 06 Laukaa
x 1141 09 Yyteri	x 2042 10 Vihtijärvi	x 2141 09 Uihela	xn 2233 06 Koskenpää	x 3112 06 Hoopaselkä	x 3221 07 Suolahti
x 1141 10 Luvia	x 2042 11 Kytäjä	x 2141 10 Luopioinen	n 2233 07 Jämsä	x 3112 07 Vierumäki	x 3221 08 Virtasalmi
x 1141 11 Viasvesi	x 2042 12 Launonen	x 2141 11 Rautajärvi	xn 2233 08 Haavisto	x 3112 08 Heinola	x 3221 09 Maavesi
x 1141 12 Pihlava	x 2044 02 Hyvinkää	x 2141 12 Kuhlalahti	xn 2233 09 Pettämä	x 3112 09 Ruotsalainen	x 3232 09 Jäppilä
x 1142 06 Ouran saaristo	x 2044 03 Riuhimäki	x 2142 01 Viittepohja	xn 2233 10 Patajoki	x 3112 10 Vuolenkoski	x 3232 10 Tiuhonniemi
x 1142 07+04 Mäntyluoto	x 2112 01 Rutava	x 2142 02 Enokunta	n 2233 11 Saakoski	x 3112 11 Konnivesi	x 3234 01 Joroinen
x 1142 08+05 Saantee	x 2112 02 Rajala	x 2142 03 Lauttakulma	xn 2233 12 Moksi	x 3112 12 Heinolan mlk	x 3234 02 Kuvansi
x 1142 09 Kõrtli	x 2112 03 Karhniemi	x 2142 04 Oriveden as	x 2234 07 Salovesi	x 3113 01 Haapa-Kimola	x 3234 03 Varkaus
x 1142 10 Kellahti	x 2112 04 Kukonharja	x 2142 05 Orivesi	x 2234 08 Petäjavesi	x 3113 02 Iitti	x 3234 04 Tiemasaari
x 1142 11 Ahlainen	x 2112 05 Huittinen	x 2142 06 Korkeakoski	x 2234 09 Ylä-Kintaus	x 3113 03 Kymmentaka	x 3234 05 Harjavalta
x 1142 12 Lankoski	x 2112 06 Keikyä	x 2142 07 Pöytä	x 2234 10 Parkkila	x 3113 04 Korja	x 3234 06 Rauhamäki
x 1143 01 Leistikäljärvi	x 2112 07 Kanteenmaa	x 2142 08 Leppähammas	x 2234 11 Kuohu	x 3113 05 Kuusankoski	x 3234 07 Luusalmi
x 1143 02 Pori	x 2112 08 Vanttila	x 2142 09 Juupajoki	x 2234 12 Nyroli	x 3113 06 Oravala	x 3234 08 Pisananiemi
x 1143 03 Ruosniemi	x 2112 09 Houhajärvi	x 2142 10 Eräjärvi	x 2244 07 Saarjärvi	x 3113 07 Myllykoski	x 3234 09 Kangaslampi
x 1143 04 Nakkila	x 2112 10 Punkalaidun	x 2142 11 Längelmäki	x 3111 04 Makkamäki	x 3113 08 Kouvola	x 3234 10 Ahvensalmi
x 1143 05 Kaasmarkku	x 2112 11 Liitsola	x 2142 12 Urtimojärvi	x 3111 05 Kosola	x 3113 09 Multamäki	x 3234 11 Viljoala
x 1143 06 Palus	x 2112 12 Sammaljoki	x 2143 01 Padankoski	x 3111 06 Ylihärmä	x 3113 10 Savero	x 3234 12 Karhilahtival
x 1143 07 Harjavalta	x 2113 04 Forssa	x 2143 02 Kynnärö	x 3111 07 Lapua	x 3113 11 Utti	x 3241 01 Haapkoski
x 1143 08 Kullaa	x 2122 01 Lavia	x 2143 03 Vehkajärvi	x 3111 08 Hellanmaa	x 3113 12 Toikkala	x 3241 02 Pöörilampi
x 1143 09 Tuurijärvi	x 2122 02 Vihteljärvi	x 2143 04 Vesijoki	x 3111 09 Liinamaa	x 3121 01 Karilnmaa	x 3241 03 Suonenjoki
x 1143 10 Kynsikkangas	x 2122 03 Kuninkaanlähde	x 2143 05 Torittu	x 3111 10 Lapuan as	x 3121 02 Nikkaroinen	x 3241 04 Kotamäki
x 1143 11 Sääksjärvi	x 2122 04 Savi	x 2143 06 Lummenne	x 3111 11 Ojutjärvi	x 3121 03 Sysmä	x 3241 05 Suontee
x 1143 12 Kivijärvenmaa	x 2122 05 Vehuvarpee	x 2143 07 Padasjoki	x 3111 12 Kauhava	x 3121 04 Ruvioskorpi	x 3241 06 Lytilänmäki
x 1144 01 Noormarkku	x 2122 06 Jämsjärvi	x 2143 08 Kelloalmi	x 3113 09 Kärmäsaari	x 3121 05 Nuoramoinen	x 3241 07 Ruuhilampi
x 1144 02 Isojärvi	x 2122 07 Vesajärvi	x 2143 09 Kuhmoinen	x 3113 10 Alajärvi	x 3121 06 Vallittula	x 3241 08 Sorsavesi
x 1144 03 Leväsjo	x 2122 08 Vatula	x 2143 10 Kelvenne	x 3113 11 Vimpeli	x 3121 07 Pääsinniemi	x 3241 09 Mäkrämäki
x 1144 04 Rudanmaa	x 2122 09 Kilvakkala	x 2143 11 Virmaila	x 3113 12 Ytterbrätö	x 3121 08 Kalho	x 3241 10 Sorsakoski
x 1144 05 Pomarkku	x 2122 10 Hämeenkyrö	x 2143 12 Tehinsekä	x 3122 11 Kokkola	x 3121 09 Hotila	x 3241 11 Oravikoski
x 1144 06 Petkele	x 2122 11 Kyröskoski	x 2144 01 Eväjärv	x 3122 12 Trullögrundet	x 3121 10 Koskenmylly	x 3243 01 Unnukka
x 1144 07 Lassila	x 2122 12 Ikaalinen	x 2144 02 Alhojärvi	x 3123 01 Veteli	x 3121 11 Lepsala	x 3243 02 Hiideniemi
x 1144 08 Leppäruha	x 2124 01 Lempiänemi	x 2144 03 Karklampi	x 3123 02 Tastula	x 3121 12 Murakka	x 3243 03 Kättyniemi
x 1144 09 Venesjärvi	x 2124 02 Länsi-Teisko	x 2144 04 Harjunsalmi	x 3124 01 Lahnakoski	x 3131 01 Enäjärvi	x 3243 04 Pyhäjärvi
x 1144 10 Kalliala	x 2124 03 Parkuu	x 2144 05 Kaipola	x 3124 02 Rimmi	x 3131 02 Kaipainen	x 3243 05 Maasläniähti
x 1144 11 Vertuu	x 2124 04 Kämnniemi	x 2144 06 Ruolahti	x 3124 03 Poroluoto	x 3131 03 Inkerilä	x 3243 06 Vuotolahti
x 1144 12 Kankaanpää	x 2124 11 Teisko	x 2144 07 Pihlajakoski	x 3124 04 Ypyä	x 3131 04 Saaramaa	x 3243 07 Ruotanen
x 1242 09 Pentalax	x 2124 12 Murole	x 2144 12 Vaheri	x 3124 05 Reijärvi	x 3131 05 Kaitjärvi	x 3243 08 Kärämäki
x 1242 10 Pörtom	x 2134 04 Ahoine	x 2211 01 Jokivarsi	x 2344 01 Iso-Juurikka	x 3131 06 Kannuskoski	x 3243 09 Koposenperä
x 1242 12 Övermalax	x 2131 09 Hämeenlinna	x 2211 02 Korvaluoma	x 2344 02 Pidisjärvi	x 3131 07 Purho	x 3431 12 Kajaani
x 1244 01 Niemenkylä	x 2132 01 Kalvola	x 2211 03 Kantti	x 2344 03 Nivala	x 3131 08 Somerharju	x 3544 06 Posio
x 1244 02 Sarvijoki	x 2132 02 Sääksmäki	x 2211 04 Kovelahti	x 2344 04 Kalkkuperä	x 3131 09 Pentti	xn 3612 10 Oikarinen
x 1244 04 Jurva	x 2132 03 Valkeakoski	x 2211 05 Loholuoma	x 2344 05 Karvoskylä	x 3131 10 Luontosenjärvi	x 3713 08 Jänkävuoja
x 1244 06 Kylänpää	x 2132 04 Leteensuu	x 2211 06 Häädetkeidas	x 2344 06 Maliskylä	x 3131 11 Luumäki	x 3713 09 Sodankylä
x 1244 07 Nopankylä	x 2132 05 Tyrväntö	x 2211 07 Riittala	x 2344 07 Haapajärvi	x 3131 12 Huuhtalo	x 3724 2 Mäkräharju
x 1244 10 Koskenkorva	x 2132 06 Lahtikala	x 2211 08 Parkano	x 2344 08 Parkkila	x 3134 01 Lemi	x 3742 1 Vuotso
x 1244 11 Huissinkylä	x 2132 07 Hattula	x 2211 09 Vuorijärvi	x 2344 09 Karsikas	x 3134 02 Vitsai	x 3832 07 Ivalo
x 1333 04 Laihia	x 2132 08 Alvetula	x 2211 10 Tevaniemi	x 2413 07 Himanka	x 3134 03 Solkei	x 4331 06 Sokojärvi
x 1333 05 Vähäkyrö	x 2132 09 Ilmoila	x 2211 11 Poikkeusharju	xn 2431 05 Alavieska	x 3134 04 Ruutala	x 4414 10 Juolunkajärvi
x 1333 10 + 2311 01	x 2132 10 Eteläinen	x 2211 12 Parkano as.	x 2431 07 Ylivieska	x 3134 05 Peltol	x 4414 11 Lentiira
x 1333 11 + 2311 02	x 2132 11 Hauho	x 2212 07 Kuivasjärvi	x 2431 08 Niemelänkylä	x 3134 06 Peltol	x 4524 01 Kuusamo
x 1333 12 + 2311 03	x 2132 12 Puutikkala	x 2212 08 Kankarinjärvi	x 2431 09 Raudaskylä	x 3134 07 Lappeenranta	x 4524 02 Saapunki
x 1333 13 + 2311 04	x 2133 01 Ryttylä		x 2441 05 Lapaluoto	x 3134 08 Vehkataipale	

Numeeriset kartat saatavissa myös paperi- tai muovitulosteina
 Numeriska kartor tillgängliga också som pappers- eller
 transparentkopior
 Numerical maps available also as hardcopies

* erillinen selitys julkaistu 2142 01-12 Orivesi
 skild beskrivning publicerad
 separate explanation published

Maaperäkartan käyttöopas 1:20 000 / 1:50 000
 Grundkartläggningen av Finlands jordarter
 Basic Mapping of Quaternary Deposits in Finland

Kartoja myy:

GEOLOGIAN
 TUTKIMUSKESKUS
 Julkaisumyynni
 02150 Espoo

90-46931

Teleksi: 123 185 geolo sf
 Faksi: 90-462 205

Kartoja myyvät myös
 GTK:n aluetoimistot
 Kuopiossa ja Rovaniemellä,
 sekä KARTTAKESKUS

Kartorna säljs av:

GEOLOGISKA
 FORSKNINGSCENTRALEN
 Publikationsförsäljning
 02150 Esbo

90-46931

Telex: 123 185 geolo sf
 Telefax: 90-462 205

Kartorna kan också köpas
 vid våra filialer i
 Kuopio och Rovaniemi,
 samt KARTTAKESKUS
 (KARTCENTRALEN)

The maps can be obtained from:

GEOLOGICAL SURVEY
 OF FINLAND
 Publication sales
 SF-02150 Espoo, Finland

+358-0-46931

Telex: 123 185 geolo sf
 Telefax: +358-0-462 205

The maps are also
 available at our
 regional offices in
 Kuopio and Rovaniemi
 and at KARTTAKESKUS
 (MAP CENTER)

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 75/1992 Taajamaväylän saneerauksen vaikutukset; Hankasalmen ja Kauhavan liikenneturvallisuuden sekä Hankasalmen liikenneolosuhteiden kehitys TIEL 3200126.
- 76/1992 Yleisten teiden ympäristön tilan selvitys; Ilmanlaatu. TIEL 3200128
- 77/1992 Raskaan liikenteen haastattelututkimus Etelä-Suomen punnitusteillä.
- 78/1992 PTM-auton tuottamien tunnuslukujen käyttökelpoisuus ja vertailtavuus sekä niiden yhteys laser-mittauksiin (IRI, IRI4, PI/LASER). TIEL 3200134
- 1/1993 Arktinen tien rakentaminen. TIEL 3200121
- 2/1993 Geotekniikan informaatiojulkaisu: Massanvaihto. TIEL 3200127
- 3/1993 Tieliikenteen informaatiotekniikka; Tilannekatsaus. TEIL 3200129
- 4/1993 Yleisten teiden käyttömaksut; Osa A: Teoria, käytäntö ja soveltuvuus Suomeen. TIEL 3200130
- 5/1993 Yleisten teiden käyttömaksut; Osa B: Automaattisen perintäteknologian soveltuvuus Suomen moottoriväylille. TIEL 3200131
- 6/1993 Yleisten teiden käyttömaksut; Osa C: Selvitys Turunväylän ja Lahdentien rakentamisesta tullirahoituksella. TIEL 3200132
- 7/1993 Yleisten teiden käyttömaksut; Osa D: Parainen-Nauvo kiinteä yhteys tullitienä. TIEL 3200133
- 8/1993 Sitomattoman kantavan kerroksen rakentaminen. TIEL 3200135
- 9/1993 Taajamatien pienet parannustoimenpiteet. TIEL 3200136
- 10/1993 Ympäristövaikutusten arviointimenettely paikallisissa tiehankkeissa. TIEL 3200137
- 11/1993 "Vuorovaikutus tavaksi"; Palveleva tielaitos -projektin loppuraportti. TIEL 3200138
- 12/1993 Meluesteet ja puisen meluesteen malli. TIEL 3200139
- 13/1993 Hiekka- ja suolavarastot. TIEL 3200140
- 14/1993 Tie kokemusmaailmana. TIEL 3200141
- 15/1993 Masuunikuonan käyttö sitomattomissa päällysrakennekerroksissa. TIEL 3200142
- 16/1993 Betonipäällysteen seuranta; Vt 4 Kempele-Kiviniemi, seurantaraportti nro 1. TIEL 3200143
- 17/1993 Asfalttipäällysteiden suunnitteluperusteiden vertailu nastallisen ja nastattoman liikenteen välillä, kirjallisuustutkimus. TIEL 3200144
- 18/1993 Tiehankkeiden liikennetaloudellisen kannattavuuden toteutuminen.
- 19/1993 Teiden kuntoa ja palvelutasoa koskeva seurantatutkimus. Mittaukset ja havainnot. TIEL 3200145.